

53

K-61

Проф. КОЛЬРАУШЪ

КРАТКОЕ РУКОВОДСТВО

КЪ ПРАКТИЧЕСКИМЪ ЗАНЯТІЯМЪ

ПО ФИЗИКЪ

Перев. подъ ред. проф. Н. П. КАСТЕРИНА



ОДЕССА

1914

3975

БЕРЕГИТЕ КНИГИ

Не перегибайте книгу во время
чтения.

Не загибайте углов.

Не делайте надписей на книге.

Не смачивайте пальцев слюною,
перелистывая книгу.

Завертывайте книгу в бумагу.

33
301-8^e

КНИГА
ЧИТАЛЬНОГО
ЗАЛА.

13

X

~~1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10.~~

Проф. КОЛЬРАУШЪ

ПРОБЕРЕН

53 (076)

K61

КРАТКОЕ

РУКОВОДСТВО

КЪ ПРАКТИЧЕСКИМЪ ЗАНЯТИЯМЪ

ПО ФИЗИКЪ

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО

прив.-доц. Д. Д. ХМЫРОВА и лабор. Е. А. КИРИЛЛОВА

ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ

✓ проф. Н. П. КАСТЕРИНА

Съ 125 рисунками въ текстъ

ПРОВЕРЕНО 1966 г.

MAHES



ОДЕССА 1914

ОДЕССА.
Типографія „Техникъ“, Екатерининская, 58
1913.

ОГЛАВЛЕНІЕ

	Стр.
Изъ предисловія автора	1
Введеніе	
1. Единицы измѣренія. Абсолютная или CGS-система мѣръ	5
Размѣрности производныхъ единицъ	7
CGS-единицы, выведенныя изъ пространства и времени	8
Механическія единицы	9
Электрическія единицы по электростатической системѣ	11
Магнитныя единицы	13
Электрическія единицы по электромагнитной системѣ	16
2. О точности измѣреній	20
3. Ошибки наблюденій; средняя и вѣроятная ошибки	21
4. Оцѣнка ошибки изъ метода; вліяніе ошибокъ наблюденій на результатъ	23
5. Правила приближеннаго вычисленія надъ малыми величинами	26
6. Поправки и ихъ вычисленіе	27
7. Интерполированіе	29
8. Графическое представленіе наблюденій	30
9. Числовая выкладки	30
9a. О растворахъ	31
Взвѣшиваніе и опредѣленіе плотности	
10. Вѣсы и взвѣшиваніе	33
11. Чувствительность вѣсовъ	38
12. Отношеніе плечъ коромысла	38
13. Абсолютное взвѣшиваніе тѣла	40
Приведеніе вѣса къ пустотѣ	41
14. Таблица поправокъ для набора разновѣсокъ	42
15. Плотность; удѣльный вѣсъ. Способы опредѣленія	45
16. Приведеніе найденнаго значенія плотности къ пустотѣ и водѣ при 4°	53
17. Волюмометръ	56
18. Вычисленіе плотности воздуха или другого газа по давленію и температурѣ	56
18a. Эвдіометръ	57
19. Опредѣленіе плотности пара	58
Взвѣшиваніемъ пара	59
Измѣреніемъ объема пара	61
Вытѣсненіемъ воздуха	62
20. Опредѣленіе плотности газа. Взвѣшиваніемъ	64
По скорости истеченія	65

Измѣреніе пространства и времени

21. Измѣреніе длины	67
Сферометръ	68
22. Катетометръ	69
23. Опредѣленіе емкости взвѣшиваніемъ	69
24. Калиброваніе узкой трубки	71
25. Измѣреніе угловъ помощью зеркала и шкалы	72
Вычисленіе угла и его функций изъ отчета на шкалѣ	73
26. Нахожденіе положенія равновѣсія изъ колебаній	74
27. Затуханіе и логарифмическій декрементъ	75
28. Періодъ колебанія	76
Приведеніе къ безконечно малымъ дугамъ	78
29. Моментъ инерціи	78
Вычисленіе. Опредѣленіе посредствомъ нагрузки	79
30. Теодолитъ или универсальный инструментъ	80
31. Опредѣленіе меридіана мѣста	81
32. Высота полюса мѣста	83
33. Опредѣленіе времени по высотамъ солнца	83
34. Опредѣленіе хода часовъ	85
35. Ускореніе силы тяжести. Длина секунднаго маятника	86

Давленіе

36. Измѣреніе давленія. Манометръ	89
37. Атмосферное давленіе (барометрическая высота)	90
38. Барометрическое измѣреніе высоты	92

Теплота

39. Формы термометровъ. Общія замѣчанія	95
40. Ртутный термометръ. Точки таянія льда и кипѣнія	96
Измѣняемость постоянныхъ точекъ	98
Выстаивающіеся столбики. Приведеніе ртутнаго термометра къ газовому	99
41. Калиброваніе термометра	100
42. Газовый или воздушный термометръ	104
43. Электрическое измѣреніе температуры. Термоэлементъ	106
Болометръ	107
44. Опредѣленіе термического коэффиціента расширенія	108
Измѣреніемъ длины	108
Взвѣшиваніемъ	109
Расширеніе жидкостей	110
45. Точка плавленія, точка отвердѣванія	111
Точка замерзанія раствора	111
46. Точка кипѣнія жидкости	113
Точка кипѣнія раствора	114
47. Опредѣленіе влажности воздуха (гигрометрія)	115
48. Калориметрія. Водяной калориметръ. Удѣльная теплота, способъ смѣшенія	118

	Стр.
Твердые тѣла	119
Жидкости	123
49. Удѣльная теплота; электрический методъ	123
50. Удѣльная теплота; ледяной калориметръ Бунзена	124
51. Другія калориметрическія измѣренія	126
Упругость и звукъ	
52. Опредѣленіе модуля упругости изъ растяженія	128
53. Модуль растяженія изъ продольныхъ колебаній	130
54. Модуль растяженія изъ гнутаія	131
55. Модуль крученія изъ колебаній	132
56. Опредѣленіе скорости звука по пыльнымъ фигурамъ	133
57. Число колебаній тона	135
Капиллярность и треніе	
58. Капиллярная постоянная	138
59. Коэффициентъ внутренняго тренія жидкости	140
Свѣтъ	
60. Показатель преломленія призмы. Спектрометръ	143
Цвѣтъ. Длина волны. Спектръ	148
61. Измѣреніе двуграннаго угла отражательнымъ гониометромъ	149
62. Показатель преломленія плоскопараллельной пластинки подъ микро- скопомъ	150
63. Показатель преломленія по углу полного отраженія	151
64. Спектральный анализъ	154
65. Длина волны свѣтового луча	158
Дифракціонная рѣшетка	159
Ньютоновы кольца	160
66. Радиусъ кривизны. Сферометръ	160
Измѣреніе посредствомъ отраженія	161
Офтальмометръ	162
67. Фокусное разстояніе	163
68. Увеличеніе и проч. оптическаго прибора	167
69. Уголъ полной поляризаціи тѣла	170
70. Поляризаціонный приборъ. Изслѣдованіе двоякопреломляющихъ тѣлъ	171
71. Оптическая вращательная способность; сахариметрія	176
72. Фотометрія	183
Магнитизмъ	
73. Горизонтальная составляющая напряженія земнаго магнитизма	188
74. Временныя измѣненія земнаго магнитизма	192
75. Сравненіе горизонтальной составляющей въ двухъ мѣстахъ	193
76. Магнитный моментъ	195
77. Коэффициентъ крученія подвѣшеннаго магнита	196
78. Магнитное склоненіе. Измѣреніе угловъ буссолью	197
79. Магнитное наклоненіе	197

Электричество

80.	О гальванических работах вообще. Единицы. Законы Ома	199
	Возбудители тока. Соединение проводниковъ между собою.	
	Реостаты	201—204
✓ 81.	Измѣреніе силы тока. Тангенсъ-буссоль	205
82.	Синусъ-буссоль	207
83.	Зеркальный гальванометръ	208
84.	Электродинамометръ	210
	Электродинамическіе вѣсы	211
85.	Формы указателей тока	212
86.	Измѣненіе постоянной гальванометра посредствомъ параллельныхъ замыканій	213
✓ 87.	Электролитическое измѣреніе тока. Вольтаметръ	214
88.	Измѣреніе тока компенсаціей нормальнаго элемента	217
89.	Испытаніе прибора для измѣренія тока. Эмпирическое опредѣленіе переводнаго множителя	220
90.	Опредѣленіе сопротивленій посредствомъ замѣны	222
91.	Опредѣленіе сопротивленій измѣреніемъ силы тока	224
92.	Дифференціальный гальванометръ	225
93.	Мостъ Витстона	226
	Мостъ съ сопротивленіями попарно равными	227
	Проволочный мостъ Витстона-Кирхгофа	228
94.	Сравненіе сопротивленій по наблюденіямъ надъ затуханіемъ	229
95.	Калиброваніе реостата или проволоки Витстонова моста	230
96.	Электропроводность электролитовъ	232
97.	Сопротивленіе гальваническихъ элементовъ	238
98.	Сопротивленіе гальванометра	239
99.	Сравненіе электродвижущихъ силъ или напряженій	240
✓ 100.	Электродвижущая сила въ абсолютной мѣрѣ	242
101.	Разность потенциаловъ въ замкнутой цѣпи. Напряженіе на клеммахъ	244
102.	Универсальный гальванометръ Сименса	245
✓ 103.	Крутильный гальванометръ	246
104.	Измѣренія у динамомашинъ	247
	Лампы накаливанія	248
✓ 105.	Измѣреніе горизонтальной слагающей земнаго магнетизма тангенсъ-буссолью	248
106.	Баллистическій гальванометръ. Опредѣленіе количества электричества	249
107.	Емкость конденсаторовъ	252
108.	Мультипликационный методъ въ примѣненіи къ баллистическимъ отклоненіямъ	254
109.	Опредѣленіе магнитнаго наклоненія земнымъ индукторомъ	255
110.	Опредѣленіе сильнаго магнитнаго поля	256
✓ 111.	Абсолютное измѣреніе сопротивленій по теплотѣ, выдѣляемой токомъ	258

	Стр.
112. Коэффициентъ самоиндукціи	258
113. Электрометръ, измѣреніе потенциаловъ	260
Квадрантный электрометръ	260
Капильный электрометръ	261
Определение электродвижущихъ силъ и сопротивленій	262

Таблицы

1. Приведеніе вѣса къ пустотѣ	264
2. Плотность твердыхъ тѣлъ, жидкостей и газовъ	264
3. Процентное содержаніе и удѣльная вѣсъ водныхъ растворовъ	265
4. Плотности воды отъ 0° до 30° Определение объема вѣшиваніемъ съ водой	266
5. Расширеніе воды отъ 0° до 100°	266
6. Плотность сухого атмосфернаго воздуха при среднихъ температу- рахъ и давленіяхъ	267
7. Приведеніе объема газа къ 0° и 760 мм	267
8. Приведеніе отчетовъ барометра къ 0°	268
9. Средняя высота барометра на различныхъ высотахъ	268
10. Капиллярная депрессія ртути	268
11. Тепловое расширеніе, удѣльная теплота, теплопроводность и точка плавленія твердыхъ тѣлъ	269
12. Тепловое расширеніе, удѣльная теплота точки отвердѣванія и кипѣ- нія жидкостей	269
13. Гигрометрическая таблица	270
14. Точка кипѣнія воды между 680 и 800 мм давленія; упругость пара между 97° и 101°	270
15. Приведеніе періода колебаній къ безконечно малымъ колебаніямъ	271
16. Модуль упругости, скорость звука и сопротивленіе разрыву	271
17. Высота тона и число колебаній	271
18. Спектральная линія на шкалѣ Бунзена-Кирхгофа	272
19. Длины волнъ и показатели преломленія, вращеніе плоскости поля- ризаціи въ кварцѣ	272
20. Электропроводность металловъ	273
21. Электропроводность водныхъ растворовъ	273
22. Подвижность электрическихъ ионовъ въ водѣ	274
23. Таблицы по земному магнитизму на 1906 годъ	274
24. Атомные вѣса	275
25. Географическое положеніе и высота надъ уровнемъ моря нѣкото- рыхъ мѣстъ	275
26. Склоненіе солнца, уравненіе времени и звѣздное время	276
27. Таблица поправокъ для начала года	277
28. Астрономическая рефракція	277
29. Различныя числа	277
30. Четырехзначные логарифмы	278
31. Тригонометрическія числа	280
Алфавитный указатель	281

Въ настоящей книгѣ метрическія мѣры обозначены сокращенно:

м = метръ,

г — граммъ,

см = сантиметръ,

мг = миллиграммъ,

мм = миллиметръ,

кг — килограммъ.

км = километръ,

Квадратныя мѣры отмѣчены показателемъ 2, кубическія 3, напримѣръ

квадратный миллиметръ = мм²,

кубическій сантиметръ = см³.

ИЗЪ ПРЕДИСЛОВІЯ АВТОРА

Настоящая книга предназначена для начинающих и при томъ въ особенности для тѣхъ, кто предполагаетъ въ области практической физики ограничиться первоначальными работами. Вотъ почему изъ болѣе пространнаго содержанія моего большаго учебника выпущено, на-примѣръ, изложеніе метода наименьшихъ квадратовъ. Указанія по физической технике даются лишь кое-гдѣ, въ тѣхъ только мѣстахъ, гдѣ они непосредственно примѣняются практикантомъ. Очеркъ такъ-называемой „абсолютной“ или CGS-системы мѣръ представленъ въ сокращенномъ видѣ во введеніи. Изъ отдѣльныхъ измѣрительныхъ методовъ опущены тѣ, которые оказываются непригодными для обычнаго практикума какъ вслѣдствіе теоретическихъ и практическихъ трудностей, такъ и вслѣдствіе сложности необходимыхъ приборовъ.

Въ особенности въ отдѣлѣ пракческаго электричества сокращено или выпущено многое такое, что вышло изъ современнаго обихода благодаря новымъ средствамъ. Благодаря тому, что техника потребовала скорыхъ измѣрительныхъ методовъ, въ этой области произошелъ замѣтный переходъ къ болѣе удобнымъ измѣрительнымъ инструментамъ, въ особенности такимъ, которые даютъ измѣряемыя величины прямо въ абсолютной мѣрѣ, и со временемъ эти инструменты должны получить и получать самое широкое распространеніе при ученическихъ упражненіяхъ.

Я думаю однако, что и въ этой области полезно примѣнять въ практикумѣ не только вполне законченные въ техническомъ отношеніи инструменты, но и такіе, которые вынуждаютъ работающаго выяснять себѣ связь измѣряемыхъ величинъ съ идеями, лежащими въ ихъ основѣ. Не упустить этого, — по моему мнѣнію, одна изъ самыхъ важныхъ зачатъ. Между человѣкомъ, желающимъ научиться изучать физическія явленія, а вѣдь это и есть основная цѣль практикума для большинства учениковъ и тѣмъ, кому достаточно настѣлать основательный фундаментъ въ этой области, чтобы быть въ состояніи въ ней работать, есть существен-

ная разни́ца. Если считать, что конечная цѣль ученья состоитъ въ томъ, чтобы примѣнять изученное на практикѣ (възглядъ этотъ отчасти справедливъ), то необходимо имѣть въ виду, что цѣль эта достигается по большей части лишь посредствомъ развитія научнаго мышленія. Это основное положеніе должно быть соблюдено въ физическомъ практикумѣ, хотя въ настоящее время оно еще не вездѣ сознано въ достаточной мѣрѣ. Рѣдко случается, чтобы преподаваніе физики не достигало цѣли потому, что его ведутъ слишкомъ научно. Разумѣется, выборъ матеріала для работы долженъ соответствовать навыку ученика, а глубина изложенія, въ особенности тогда, когда примѣняются вспомогательныя средства математики, должна соответствовать его предварительной подготовкѣ, однако въ области физики даже и элементарному изложенію не отрѣзана возможность остаться на научномъ пути. Именно по этой причинѣ физика, какъ предметъ общеобразовательный, имѣетъ незамѣнимую цѣну.

По опыту знаю и смѣлю могу сказать, что въ томъ же убѣдились всѣ учителя физики: въ преподаваніи, какъ и въ самой научной работѣ, (въ особенности ярко замѣтно это на научныхъ результатахъ послѣднихъ лѣтъ) достигаются наибольшіе, глубоко проникающіе даже въ обыденную жизнь успѣхи тогда, когда наука идетъ своимъ естественнымъ путемъ и приложения непосредственно не имѣются въ виду. Электротехника, напримѣръ, обязана своимъ безпримѣрно-быстрымъ развитіемъ, которымъ она справедливо гордится, не только гениальной изобрѣтательности своихъ дѣятелей и правильному пониманію ими практическихъ потребностей, но главнымъ образомъ тому обстоятельству, что физическія основы этой области по существу были разработаны въ совершенствѣ, и что люди, практически разрабатывавшіе ее, прошли научную школу.

Само по себѣ ненужное научное познаніе, одна изъ областей, всегда смѣло могущихъ рассчитывать на поддержку со стороны національнаго честолюбія, не есть единственный носитель культуры; однако оно принадлежитъ къ числу носителей наиболее широко распространенныхъ, слово, которое не можетъ вызвать въ данномъ случаѣ возраженій, такъ какъ каждому предоставляется принимать участіе въ научномъ изслѣдованіи.

И къ числу вспомогательныхъ средствъ, приготовляющихъ къ работѣ вмѣстѣ съ другими въ этой области, принадлежитъ, играя роль важной составной части, физическій практикумъ. Конечно, онъ

потомъ служить не только чистой наукѣ, но и преслѣдовать непосредственно-практическія цѣли; однако послѣднія будутъ достигнуты учащимся тѣмъ успѣшнѣе, чѣмъ болѣе онъ способенъ цѣнить науки не только по ихъ цѣли, но и съ чисто научной точки зрѣнія.

То обстоятельство, что „краткое руководство“ своимъ текстомъ, а также обозначеніями и рисунками по возможности примыкаетъ къ моему болѣе обширному учебнику, не является слѣдствіемъ только удобства или экономіи; это казалось умѣстнымъ и въ интересахъ преподаванія, такъ какъ облегчаетъ параллельное пользованіе обоими изданіями. Дѣйствительно, будущій физикъ, математикъ, физико-химикъ, электротехникъ или кто-нибудь въ этомъ родѣ со временемъ, по моему предположенію, вообще будетъ придерживаться болѣе полного изданія, которое представляетъ нѣкоторые преимущества благодаря сжатому изложенію, умѣстному тамъ и облегченному болѣе обширнымъ примѣненіемъ математики, а также благодаря своей большей полнотѣ.

Отдѣльными задачамъ предшествуетъ обыкновенно краткое объясненіе; указаніямъ относительно практическаго выполненія работы отведено больше мѣста, чѣмъ раньше, при чемъ однако въ описаніи приборовъ, которые работающій по большей части получаетъ прямо готовыми или съ подробнымъ наставленіемъ относительно ихъ сборки, и относительно которыхъ онъ всегда можетъ навести справки въ учебникѣ физики, мы не шли дальше самаго необходимаго. Выполненію задачи долженъ быть предоставленъ, насколько возможно, широкій просторъ, съ одной стороны для того, чтобы не стѣснять отдѣльныя лабораторіи, а еще болѣе для того, чтобы сохранить въ необходимой мѣрѣ умственную самостоятельность работающаго. А вѣдь это послѣднее и есть главная задача начальнаго практикума. Цѣнность представляетъ не задача, выполненная согласно схемѣ, а то умственное достояніе, которое приобретаетъ работающій при ея выполненіи. Достояніе же это становится тѣмъ болѣе ограниченнымъ, чѣмъ болѣе схематизируется работа, и потому готовые методы и инструменты не слѣдуетъ предлагать въ большей мѣрѣ, чѣмъ это требуется необходимыми для веденія лабораторіи порядкомъ и простотой.

При выборѣ задачъ, согласно идеѣ этой книги, можно было стать на двѣ точки зрѣнія. При одномъ только слушаніи лекцій

значительная часть физических законов недостаточно глубоко проникает въ сознание слушателя и недостаточно глубоко его заинтересовываетъ; часто однако достаточно только одинъ разъ примѣнить данный законъ, чтобы восполнить этотъ пробѣлъ. Во-вторыхъ, существуетъ цѣлый рядъ задачъ, выполнение которыхъ должно быть извѣстно, напримѣръ, въ химіи, минералогіи, медицинѣ, фармаціи и въ профессіяхъ, обычно называемыхъ техническими, задачъ, которыя вообще даже не могутъ быть затронуты во время лекцій.

Если объединить обѣ точки зрѣнія, то въ результатѣ окажется, что элементарный практикумъ вообще не долженъ дѣлать слишкомъ рѣзкихъ индивидуальныхъ разграниченій при выборѣ задачъ для студентовъ различныхъ категорій. На этомъ-то и основывается универсальное значеніе упражненій по физикѣ и возможность относиться къ студентамъ различныхъ специальностей, если не совершенно одинаково, то во всякомъ случаѣ настолько единообразно, чтобы всѣмъ имъ было пригоденъ по существу одинъ и тотъ же курсъ практическихъ занятій и, какъ мы это имѣемъ въ виду здѣсь, одна и та же книга.

Таблицы заключаютъ въ себѣ то, чего требуетъ намѣченная цѣль, а кромѣ того кое-что полезное для домашней работы по физикѣ. Въ послѣднемъ отношеніи въ особенности приняты во вниманіе потребности химіи.

Во второмъ изданіи, кромѣ добавленія нѣсколькихъ задачъ и рисунковъ, главнымъ образомъ существенно расширенъ и сдѣланъ болѣе нагляднымъ текстъ, это должно облегчить болѣе глубокое пониманіе задачъ и дать толчокъ къ изученію того отдѣла, къ которому онъ относится.

Профессоръ Рудольфъ Веберъ въ Гейдельбергѣ, извѣстный своей многолѣтней опытною въ дѣлѣ практическихъ занятій по физикѣ, существенно содѣйствовалъ изданію и имѣлъ любезность просмотрѣть корректуры.

Марбургъ, апрѣль 1907.

ВВЕДЕНИЕ

1. Единицы измерения. Абсолютная или CGS-система мѣръ

Около середины прошлаго столѣтія закончилось развитіе системы физическихъ единицъ, сводящей измереніе величинъ всякаго рода къ измеренію длины, массы и времени; система эта сдѣлала всесторонне понятными не только количественныя данныя, связанныя съ чистымъ естествознаніемъ, но и данныя, встрѣчающіяся въ техническихъ наукахъ. Здѣсь мы изложимъ, какимъ именно способомъ всѣ физическія величины, отъ болѣе простыхъ до самыхъ сложныхъ, были сведены къ упомянутымъ выше тремъ основнымъ величинамъ¹⁾.

Если требуется физически описать какой-либо предметъ, процессъ или состояніе, то кратчайшій путь къ этому будетъ состоять въ томъ, чтобы указать его родъ и его величину. Указаніе это получаютъ въ результатъ измерения, т. е. находятъ число, выражающее, сколько разъ въ измеряемой величинѣ содержится другая извѣстная величина того же рода, называемая единицей. Кромѣ того, иногда можетъ потребоваться указаніе мѣста, а при такъ называемыхъ „направленныхъ величинахъ“ еще и указаніе ихъ направленія въ пространствахъ.

Единицей можетъ служить каждая извѣстная неизмѣнная величина того же рода, какъ и измеряемая величина. Такъ, на примѣръ, единицами могли бы служить длина нѣкоторой палки, объемъ подходящаго полата гѣла, масса какого-нибудь гѣла, время колебанія опредѣленнаго маятника, электрическое сопротивленіе опредѣленной проволоки. Такія основныя мѣры (эталоны) пришлось бы

¹⁾ Излагая въ самомъ началѣ книги систему мѣръ мы не считаемъ однако что всестороннее ея изученіе должно быть предпосылаемо работамъ по физикѣ. Вполнѣ ясное пониманіе значенія единицъ можетъ явиться лишь послѣ выполненія работъ, при которыхъ онѣ примѣняются, на эти работы мы въ соответствующихъ мѣстахъ сдѣлаемъ ссылки.

сохранять. Въ качествѣ единицы силы можно было бы использовать притяженіе землею нѣкотораго опредѣленнаго тѣла, которое также слѣдовало бы сохранять, въ качествѣ единицы скорости — скорость свободно падающаго тѣла въ концѣ первой секунды и т. д. Для потребностей физическихъ измѣреній можно было бы установить добрую сотню подобныхъ единицъ измѣренія, если бы выбирать ихъ произвольно.

Было бы однако не легко съ одной стороны сохранить всѣ эти основныя мѣры неизмѣнными, съ другой стороны — сдѣлать ихъ доступными. Кромѣ того, при примѣненіи единицъ, не связанныхъ въ опредѣленную систему, возникли бы столь значительныя неудобства, что объ ихъ размѣрахъ теперь съ трудомъ даже можно составить себѣ представленіе, ибо физика при выработкѣ самыхъ основъ измѣренія уже не одно столѣтіе стремилась къ тому, чтобы привести единицы измѣренія въ систему.

Простое положеніе, служившее при этомъ путеводной нитью, состоитъ въ томъ, чтобы по возможности уменьшить число произвольно опредѣленныхъ мѣръ и при этомъ ограничиться такими единицами, которыя, во-первыхъ, по возможности легко сохраняются безъ измѣненія или воспроизводятся и, во-вторыхъ, оказываются подходящими для того, чтобы выводить изъ нихъ остальные единицы. Последнее производится на основаніи геометрическихъ, кинематическихъ или физическихъ законовъ, связывающихъ различныя роды величинъ. Такъ, напримѣръ, объемъ сводится къ длинѣ, скорость къ длинѣ и времени, количество тепла, по условію, къ градусу температуры и къ водѣ, количество электричества къ тѣмъ силамъ, которыя оно проявляетъ. Единицы установленныя подобнымъ образомъ, называются „производными“ единицами. Опредѣленіе ихъ производится такъ, что въ то же время законъ, служащій для опредѣленія единицы, получаетъ возможно болѣе простой видъ. Именно, приводя къ наиболѣе удобному числу ту „константу“, которая связываетъ въ законѣ различныя роды величинъ, и числовое значеніе которой зависитъ какъ-разъ отъ единицъ, служащихъ для измѣренія этихъ величинъ. Напримѣръ, объемъ v куба съ ребромъ l пропорционаленъ l^3 , откуда $v = C \cdot l^3$. Если объемы мѣрить четверикомъ, а длины футомъ, то $C = 1.78$. Принимая же за единицу объема кубъ, построенный на единицѣ длины, мы тѣмъ самымъ придаемъ C значеніе 1.

О томъ, какъ мало наглядна была бы система единицъ, не опирающаяся на этотъ принципъ, впервые сознательно введенный во французской системѣ мѣръ, мы можемъ составить себѣ нѣкоторое представление, разсматривая системы мѣръ тѣхъ немногихъ культурныхъ государствъ, которыя до сихъ поръ еще отказываются принять вполне этотъ принципъ.

Въ настоящее время въ физикѣ приобрѣли господство слѣдующія основныя мѣры: единица времени, выведенная изъ движенія земли, единица длины, приведенная къ обхвату земного шара и единица массы, связанная съ единицей длины при посредствѣ воды.

Изъ этихъ трехъ основныхъ единицъ стремятся вывести остальные физическя единицы измѣреня. Возникающая такимъ образомъ, развивая въ особенности Гауссомъ и Вильгельмомъ Веберомъ система единицъ справедливо называется абсолютной¹⁾ или динамической. При этомъ предпочитаютъ принимать за основныя единицы секунду, сантиметръ и граммъ. Выведенныя отсюда единицы называются *Синтеметрическими* или *CGS* единицами.

Слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что граммъ здѣсь означаетъ не силу, какъ въ просторѣчьи и въ „статической“ системѣ мѣръ, а массу. Весь гѣла въ m граммовъ равенъ $g \cdot m$, работа, которую мы производимъ, напримѣръ, при подыманніи 1 кг на 1 м, равна не $1000 \cdot 100$, а $1000 \cdot 100 \cdot g$ CGS, если g обозначаетъ ускореніе силы тяжести.

Размѣрности производныхъ единицъ. Въ абсолютной системѣ мѣръ всѣ величины представляются, какъ функции длины $[l]$, массы $[m]$ и времени $[t]$. Напримѣръ, объемъ v куба съ ребромъ l есть $v = l^3$, т. е. v единицъ объема (l^3 единицъ длины)¹⁾, или v единицу объема = $l^3 \cdot$ (единицу длины)¹⁾. Число v , конечно, равно числу l^3 , такъ что можно написать, единица объема равна (единицѣ длины)¹⁾. Скорости u приравняется пройденному пути l , дѣленному на вре-

¹⁾ Впервые названіе „абсолютной“ эта система получила случайно. Названіе это не имѣло въ виду выдѣлить эту систему, какъ единственно вѣрную, обладающую особымъ значеніемъ. Въ первый разъ слово абсолютный было употреблено для обозначенія системы по которой Гауссъ образовалъ единицу, выведенную изъ длины, массы и времени и послужившую ему для того, чтобы измѣреніе сдѣланное до тѣхъ поръ лишь относительно (именно, измѣреніе силы земноты магнитнаго поля) превратить въ абсолютное. Лишь впоследствии стали пытаться придать этому названію болѣе широкое содержаніе, чѣмъ то которое въ немъ заключалось.

мя движения, $u = l \cdot t$, т. е. если выделить единицы, которые слѣдуетъ представлять себѣ какъ бы множителями чиселъ, то получится $u \propto$ единицу скорости $= \frac{l}{t} \propto \frac{\text{единицу длины}}{\text{единицу времени}}$. Отбрасывая равныя числовыя величины u и $l \cdot t$ имѣемъ: единица скорости = единица длины : единица времени. Такимъ же образомъ ниже мы найдемъ отношеніе: единица силы = единица массы $\cdot \frac{\text{единица длины}}{(\text{единица времени})^2}$ и т. д.

Если обозначать единицы буквами, заключенными въ прямыя скобки, то $[v] = [l] \cdot [t]^{-1}$, $[u] = [l] \cdot [t]^{-1}$, $[k] = [m] \cdot [l] \cdot [t]^{-2}$. Показатели называются „размѣрностями“, въ которыхъ основныя единицы входятъ въ производныя; говорятъ, напримѣръ, что единица силы имѣетъ относительно единицы длины и массы размѣрность 1, относительно времени размѣрность 2. Или же говорятъ короче: сила имѣетъ относительно длины и массы размѣрность 1, относительно времени размѣрность 2, и пишутъ $[k] = [l, m, t^2]$; скобки здѣсь должны обозначать, что принимается во вниманіе только родъ величины.

Знаніе размѣрностей производной единицы полезно, между прочимъ, въ томъ случаѣ, если спрашивается, какъ измѣняется эта единица отъ измѣненія одной или нѣсколькихъ основнхъ единицъ, напримѣръ, при переходѣ отъ секунды къ минутѣ, или отъ см. къ мм, кг. или къ гм, кг и т. д. Дѣло въ томъ, что если основная единица, входящая въ производную въ p -той степени, измѣнится въ n разъ, то величина производной единицы измѣнится въ n^p разъ.

Напримѣръ, скорость $l \cdot t^{-1}$, величина же единицы скорости измѣняется при переходѣ отъ см. къ мм въ 100^{-1} разъ, а при переходѣ отъ секунды къ минутѣ въ 60^{-1} разъ. Единица силы $[m \cdot l \cdot t^{-2}]$ измѣняется при переходѣ отъ см. къ мм, кг. въ $100^{-1} \cdot 1000^{-1} = 10^{-3}$ разъ; при переходѣ отъ секунды къ минутѣ въ 60^{-2} разъ, т. е. становится въ 3600 разъ меньше.

Приставки дека-, гекто-, кило- и мега-, и соответствующія имъ деци-, милли- и микро-, обозначаютъ единицы въ 10, 100, 1000 и 10^6 разъ большія и меньшія, употребляются, напримѣръ, названія милливольтъ, метромъ, микрофарадъ.

CGS-единицы, выведенныя изъ пространства и времени

Въ качествѣ основнхъ единицъ служатъ $\frac{1}{10^9}$ часть четверти земного меридіана, сантиметръ, для длины $[l]$; масса кубическаго сантиметра воды при 4°, граммъ, для массы $[m]$; $\frac{1}{86400}$ часть среднихъ су-

токъ, т. е. средняго времени поворота земли по отношенію къ солнцу, секунда, для времени $[t]$.

1. **Площадь** f - $[l^2]$. Единица квадратный сантиметръ.

2. **Объемъ** v - $[l^3]$. Единица кубическій сантиметръ.

3. **Уголь** ϕ . Уголь равенъ единицѣ, если дуга его равна радиусу. Онъ составляетъ 57.296° .

Эта единица соответствуетъ принятому въ механикѣ обычаю выражать уголь длиною соответствующей ему дуги съ радиусомъ единица. Малый уголь численно равенъ въ этомъ случаѣ своему синусу или тангенсу. Размѣрность $[l]$ (т. е. не зависитъ отъ основныхъ единицъ)

4. **Скорость** u - $[l t^{-1}]$. Скоростью, равной единицѣ, обладаетъ точка, проходящая въ 1 секунду разстояние въ 1 сантиметръ.

Скорость есть пройденный путь, дѣленный на время, употребленное на его прохожденіе.

5. **Ускореніе** h - $[l t^{-2}]$. Единицею служить ускореніе, при которомъ скорость въ 1 *сек* возрастаетъ на 1 *см/сек*.

Если скорость возрастаетъ во время t на величину u , то движущійся предметъ обладаетъ ускореніемъ $h = u/t$. Ускореніе при паденіи составляетъ подъ 50° географической широты 981 см/сек^2 или 981 м/сек^2 .

Механическія единицы

6. **Плотность** ρ - $[m l^{-3}]$. Единицею плотности обладаетъ тѣло, содержащее въ 1 *см*³ массу 1 *г*, т. е. вода при 4° ; см. 15 и слѣд.

7. **Сила** k - $[m l t^{-2}]$. Единицею силы служитъ сила, сообщающая массѣ 1 *г* въ теченіе 1 *сек* скорость 1 *см/сек*. Эту единицу называютъ „диной“. Ср., напримѣръ, 52.

Основной законъ дѣйствія силы гласитъ: сила k , сообщаящая массѣ m во время t скорость u (ускореніе h), прямо пропорциональна величинамъ m и h и обратно пропорциональна t , иными словами, законъ выражается формулой $k = m \cdot h$ или $k = m \cdot u/t$, гдѣ числовая величина постоянной t опредѣляется выборомъ единицъ. Однако всегда говорить: сила равна массѣ умноженной на ускореніе, т. е. писать $k = m \cdot h$. Этимъ самымъ уже опредѣляется единица силы, такъ какъ равенство $k = m \cdot h$ выражаетъ, что при m , h и t равныхъ единицѣ k также = 1, т. е. что CGS-единица силы, „дина“ представляетъ собою ту силу, которая 1 грамму въ теченіе 1 *сек* сообщаетъ скорость 1 *см/сек*.

Сила, дѣйствующая на 1 *г* вълѣдствіе притяженія земли, такъ какъ она сообщаетъ массѣ 0.001 *г* въ 1 *сек* скорость 981 см/сек , составляетъ $0.001 \cdot 981 = 0.981 \text{ см/сек}^2 = 0.981$ динъ. Дина, слѣдовательно, немного больше, чѣмъ притяженіе землею 1 *г*.

8. **Давленіе** p - $[l^{-1} m t^{-2}]$. Единицею служить давленіе, при которомъ на 1 *см*² приходится сила 1 CGS или 1 дина.

Если силы распределены по поверхности равномерно, то силу, действующую (перпендикулярно) на единицу площади, называют давлением. Жидкость плотности κ на глубинѣ въ h см подъ поверхностью производить давление $q h \kappa$ или 1 сек^2 или $q h \kappa$ или 1 см^2 при чемъ для широты въ 50° величина $q = 981 \text{ см}^2 \text{ сек}^2$. Давление 1 см ртути равно поэтому $13596 \cdot 981 = 13340 \text{ см}^2$, а давление 1 атмосферы $76 \cdot 13340 = 1013800 \text{ см}^2$. Ср. 36.

9. **Работа, энергія, живая сила, количество теплоты** $[l^2 m t^{-2}]$. Единица работы есть та работа, которую производитъ сила въ 1 дину при перемѣщеніи своей точки приложенія въ направленіи силы на 1 см. Единица эта называется 1 „эргъ“. Практическія единицы электричества привели къ названію 1 „джауль“, обозначающему количество работы въ 10^7 эрговъ; ср. Nr. 28.

Однородна съ работой живая сила, энергія движенія, или кинетическая энергія $\frac{1}{2} m v^2$ массы m , обладающей скоростью v .

Единица количества теплоты есть то количество теплоты, которое эквивалентно единицѣ работы. Ср. 49 и 111.

Сила работаетъ въ томъ случаѣ, если точка ея приложенія перемѣщается. Производимая при этомъ работа равна силѣ умноженной на слагающую пути въ направленіи силы. При поднятіи 1 в на 1 м (килограммъ техники) совершается работа въ $1000 \cdot 981 = 100 \cdot 981000$ эрговъ. Граммъ-калорія эквивалентна работѣ поднятія (граммъ-вѣса на 427 метровъ, т. е. $127 \cdot 981 = 100 \cdot 41900000 \text{ см}^2 \text{ сек}^2 = 419 \cdot \text{джаулей}$ “

10. **Мощность** $[l^2 m t^{-3}]$ Подъ этимъ терминомъ понимаютъ интенсивность, съ которой работаетъ сила; мощность есть, следовательно, работа, произведенная въ единицу времени.

1 $\text{пр} \cdot \text{сек} = 1019 \cdot 10^8$ и вѣсъ $\text{сек} = 136 \cdot 10^{10}$ лошадиной силы.

Мощность въ $10^7 \text{ пр} \cdot \text{сек}$ или въ 1 *джоуль сек* въ электротехникѣ называется 1 ваттомъ, 1000 ваттъ — 1 киловаттъ — 136 лошадиной силы. Ср. Nr. 28 и 104.

11. **Моментъ вращенія** $[l^2 m t^{-2}]$. Моментъ вращенія, равный единицѣ, представляется силой въ 1 дину, приложенной перпендикулярно къ плечу длиною въ 1 см.

Сила k , действующая на плечо l , развиваетъ моментъ вращенія $P = k \cdot l$.

11а. **Направляющая сила** $D = [l^2 m t^{-2}]$. Ср. напримѣръ, Nr. 21 и 73.

Она служитъ мѣрой устойчивости положенія равновѣсія тѣла, могущаго вращаться около оси. Отклоненіе тѣла на малый уголъ ϕ (срав. Nr. 3) вызываетъ моментъ вращенія P пропорціональный ϕ . Постоянное отклоненіе $P \cdot \phi = D$ называется направляющей силой, действующей на тѣло.

Направляющая сила маятника обладающаго массой $m = 1$ в нахлѣдшейся на расстояніи $l = 1$ м отъ оси вращенія составляетъ $100 \cdot 1000 \cdot 981 =$

98 100 000 $\text{м} \cdot \text{г} \cdot \text{сек}^{-2}$, ибо момент вращения для малого угла отклонения ϕ равен $l m g \cdot \phi$; ср. 35.

12. **Момент инерции** K [$\text{г} \cdot \text{см}^2$]. Единица представляется в виде массы 1 на расстоянии в 1 см от оси вращения. Ср. 29.

Момент инерции массы m на расстоянии l от оси вращения равен $K = l^2 m$.

Момент инерции маятника, упомянутого в № 11 а, есть следовательно, $100^2 \cdot 1000 = 10^7 \text{ см}^2 \cdot \text{г}$.

Способное вращаться тело с моментом инерции K получает под действием момента вращения D угловое ускорение (срав. № 3 и 5) D/K .

Момент инерции K , направляющая сила D и период колебания T связаны между собою равенством $T^2 = 4\pi^2 K/D$. Ср. 35; 55; 73!

13. **Модуль упругости** η [$\text{г} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{мт}^{-2}$]; ср. 52—56. Если то удлинение λ , которое испытывает упругий стержень длины L , с поперечным сечением f под действием растягивающей силы k , изобразить формулой

$$\lambda = \frac{1}{\eta} k \frac{L}{f}, \text{ то } \eta = k \frac{L}{f \lambda} \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$$

будет выражать модуль упругости в CGS-единицах. η с даёт скорость звука в см/сек.

Модуль упругости на практике обыкновенно измеряется в единицах $\text{кг} \cdot \text{в} \cdot \text{см}^{-2}$ для приведения к системе CGS, очевидно, необходимо умножить на $1000 \cdot 981 \cdot 100 = 98\,100\,000$. Ср. 52.

Электрические единицы по электростатической системе

Электрические единицы выводятся из тех сил, которые производят электричество. Существует две простые исходные точки и потому две различные системы электрических единиц. „Электростатическая“ система исходит из сил существующих между покоящимися количествами электричества, а „электромагнитная“ из сил между движущимся электричеством и магнетизмом.

14. **Количество электричества** e [$\text{г}^{1/2} \cdot \text{см}^{3/2} \cdot \text{сек}^{-1}$]. „Электростатическая“ или „механическая“ единица количества электричества есть то количество, которое равно себе количество на расстоянии 1 см в пустоте или (что приблизительно то же) в воздухе отталкивается с силой в 1 дину.

Как непосредственно видно, эта единица вытекает из такого выражения закона Кулона: сила k , с которой количество электричества e действует на другое количество e на расстоянии l , равна $k = e^2/l^2$.

Размерность получается следующим образом: если количество электричества e отталкивается равно себе количество на расстоянии l с си-

люю k , то $\epsilon = 1/k$. Размѣрность k выражается через $[m^2]$, а слѣдовательно, размѣрность ϵ через $[l] \cdot [l^2 m^2 t^{-2}] = [l^3 m^2 t^{-2}]$. Ср. Nr. 23.

15 Напряжение электрическаго поля \mathcal{E} $[l^2 m^2 t^{-2}]$. Сила, дѣйствующая въ данномъ мѣстѣ на единицу количества электричества, называется напряженіемъ электрическаго поля въ этомъ мѣстѣ. Единицею напряженія обладаетъ, слѣдовательно, поле, въ которомъ на единицу количества электричества дѣйствуетъ сила въ 1 дину. Направление поля считаютъ по дѣйствію на положительное электричество.

Поле, окружающее количество электричества въ ϵ (CGS-единицъ, въ точкѣ, находящейся на разстояніи l см отъ этого количества, имѣетъ силу ϵ/l^2 $[cm^{-1} g^{1/2} sec^{-1}]$.

Силовые линіи. Силовое дѣйствіе количества электричества можно изобразить посредствомъ линій (Фаратѣй). Отъ каждой единицы электричества исходятъ 4 π силовыхъ линій. Направление линій даетъ направление силы. Густота, т. е. число линій въ пучкѣ съ площадью перпендикулярнаго сѣченія въ 1 см² даетъ силу поля въ данномъ мѣстѣ.

Ибо, если отъ количества электричества ϵ расходятся въ пространство по радиусамъ равномерно во всѣ стороны 4 $\pi\epsilon$ силовыхъ линій, то распредѣляясь на разстояніи l по поверхности шара 4 πl^2 , онѣ имѣютъ густоту $4\pi\epsilon/(4\pi l^2) = \epsilon/l^2$, что и требовалось доказать.

16. Электростатическій потенциалъ или напряженіе V $[l^2 m^2 t^{-2}]$. Единицей потенциала обладаетъ шаръ радиуса 1 см, по поверхности котораго равномерно распредѣлено количество электричества единица. Ср. 113.

Если имѣются массы вызывающія притягательныя или отталкивательныя силы, обратно пропорціональныя квадрату разстоянія, то потенциаломъ этихъ массъ на точку находящуюся около нихъ называютъ такое выраженіе, паденіе котораго по какому-нибудь направлению даетъ силу, дѣйствующую по этому направлению въ этой точкѣ изъ массы равную единицѣ (въ случаѣ электрическихъ количествъ, слѣдовательно, силу поля). Паденіе есть отношеніе величины, на которую уменьшается выраженіе при переходѣ отъ разсматриваемой точки къ соосѣнной, къ разстоянію обѣихъ точекъ, короче говоря взявъ со зыкомъ минусъ пропорціональная выраженія по разсматриваемому направлению. Потенциалъ количества электричества ϵ на точку, находящуюся на разстояніи r , равенъ ϵ/r , ибо $\frac{d(\epsilon/r)}{dr} = -\frac{\epsilon}{r^2}$.

Потенциалы многихъ количествъ электричества, наиримѣрь, частей электрическаго заряда тѣла, на точку просто складываются такъ что, наиримѣрь, потенциалъ, который производитъ количествомъ электричества ϵ , равномерно распредѣленнымъ по поверхности шара радиуса r на центръ этого шара, равенъ ϵ/r .

17. Электрическая емкость, т. е. то количество электричества, которое имѣетъ на себѣ проводникъ, заряженный до потенциала единица, въ электростатической мѣрѣ $\epsilon = [l^2 m^{-1} t^{-2} q^{-1}]$. Единицу емкости имѣетъ шарообразный проводникъ съ радиусомъ въ 1 см.

Чтобы количество электричества q было на проводникѣ въ равновѣсіи оно должно распределяться такъ, чтобы электрическая плотность на испытываемыхъ точкахъ перемѣняющихся силъ t е (ср. Nr. 16) была потенциалу V на проводникѣ была постоянна. Потенциалъ (напряженность) и количество заряда проводника пропорциональны между собою $q = \epsilon V$. Отношение q/V и составляетъ электростатическую емкость проводника.

Сила тяжести удвоенная на шарѣ равна его радиусу, потому что количество электричества q , распределенное по поверхности шара радиуса r равнозначитъ шару постояннаго потенциала, вѣдущему который q мы даемъ радиусу r (спиритуръ въ физикѣ на центр). Потенциалъ какого бы то ни было заряженного проводника можно поэтому считать равнымъ тому количеству электричества, которое должно было бы находиться на шарѣ, удаленномъ на значительное разстояніе и соединенномъ съ проводникомъ очень тонкою проволокою для того чтобы существовало равновѣсіе съ зарядомъ q на шарѣ.

18. Сила электрическаго тока $i = [l m t^{-1} q^{-1}]$. „Электростатически“ или „механически“ измѣренной единицей силы электрическаго тока обладаетъ токъ, при которомъ въ 1 смъ черезъ поперечное сѣченіе проводника протекаетъ количества электричества 1 CGS (ср. Nr. 14).

Магнитныя единицы

Ср. также замѣчанія сдѣланныя по поводу электростатическихъ единицъ, по большинству части ихъ можно примѣнять и къ магнетизму.

19. Свободный магнетизмъ или сила магнитнаго полюса $m = [l^2 m t^{-2} q^{-1}]$. Единица свободного магнетизма (или силы магнитнаго полюса) есть то количество (или тогъ полюсъ), которое на равное себѣ количество на единицу разстоянія дѣйствуетъ съ силой равной единицѣ (1 динѣ) (ср. Nr. 7).

20. Магнитный моментъ $M = [l^2 m t^{-2} q^{-1}]$. Единицею обладаетъ магнитъ съ двумя единичными полюсами ± 1 , находящимися на разстояніи 1 см другъ отъ друга.

Каждый магнитъ обладаетъ одинаковыми къ свойствамъ дождитъ быто и отрицательнаго магнетизма. Простѣе измѣнить, сферическую форму стержня долженъ быть бы состоятъ изъ двухъ одинаковыхъ единичныхъ полюсовъ, представляющихъ собою точки. Магнитъ состоящий изъ двухъ полюсовъ силы m на разстояніи l имѣетъ магнитный моментъ $M = lm$ Ср. 76.

Дѣйствіе на разстояніи пропорциональны M

Дѣйствіе на разстояніи при первомъ основномъ положеніи. Пусть магнитъ m_1 дѣйствуетъ на магнитный полюсъ m_2 находящийся въ рас-

стояши L отъ его середины. Равнодѣйствующая сила k , дѣйствующая на m , представляетъ собою разность силъ, производимыхъ обоими полюсами, т. е.

$$k = \frac{mm'}{(L - \frac{1}{2}l)^2} - \frac{mm'}{(L + \frac{1}{2}l)^2} = 2lm' \cdot \frac{L}{(L^2 - \frac{1}{4}l^2)^2}.$$

lm есть магнитный моментъ $= M$. Следовательно

$$k = 2Mm' \frac{L}{(L^2 - \frac{1}{4}l^2)^2} = \frac{2Mm'}{L^3} \left(1 - \frac{l^2}{4L^2}\right)^{-2}.$$

Если l^2/L^2 мало въ сравненіи съ 1, то на основаніи 5, разд. 5, вмѣсто этого можно написать

$$k = 2 \frac{Mm'}{L^3} \left(1 + \frac{l^2}{4L^2}\right).$$

Для втораго основнаго положенія (ср. 73 II) подобнымъ же образомъ получается

$$k = \frac{Mm'}{L^3} \left(1 - \frac{l^2}{4L^2}\right).$$

Если L очень велико сравнительно съ l , то величину l^2/L^2 можно пренебречь, и такимъ образомъ въ обоихъ случаяхъ получаются выраженія убывающія пропорціонально кубу разстоянія:

въ 1-омъ основномъ положеніи $k = 2Mm'/L^3$,

во 2-омъ основномъ положеніи $k = Mm'/L^3$.

Если замѣнимъ полюсъ m' короткой магнитной стрѣлкой, перпендикулярной къ направлению силы и имѣющей длину l и полюсы m' , т. е. обладающей магнитнымъ моментомъ $M = l'm'$, то на стрѣлку будетъ дѣйствовать моментъ вращенія $2k \cdot l/2 = kl$, т. е.

въ 1-омъ положеніи $P = 2MM'/L^3$,

во 2-омъ положеніи $P = MM'/L^3$.

въ случаѣ надобности къ этимъ формуламъ присоединяются поправочные множители, зависящіе отъ длины магнита, данныя выше въ скобкахъ, а также при болѣе длинныхъ стрѣлкахъ зависящіе отъ длины стрѣлки (ср. 73 II).

Если стрѣлка образуетъ съ направлениемъ силы уголъ не въ 90° , а уголъ α , то вышеуказанный моментъ вращенія надо умножить на $\sin \alpha$.

21. Магнитная сила въ данномъ мѣстѣ или напряженіе магнитнаго поля H или $\mathfrak{H} = [l^{-1}m^{-1}]$. Единица напряженія поля существуетъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ на перпендикулярный къ направлению поля магнитъ съ моментомъ единица дѣйствуетъ моментъ вращенія единица, или на единичный полюсъ дѣйствуетъ сила равная единицѣ. CGS-единица напряженія магнитнаго поля называется „гауссъ“. Ср. 73 и слѣд.

Вслѣдствіе своего положенія въ данномъ мѣстѣ магнитный полюсъ m испытываетъ (по причинѣ земнаго магнетизма, сосѣдства магнитовъ или элек-

трических токов) пропорциональна m силу k , $k = m \cdot H$. Величина H , действующая на единичный полюс, называется напряжением магнитной силы или магнитным напряжением, или силой магнитного поля.

На магнит перпендикулярный къ направлению силы и обладающий полюсами $+$ и $-$, отстоящими на расстоянии l другъ отъ друга, т. е. на магнитъ съ магнитнымъ моментомъ $M = m \cdot l$, действуетъ моментъ вращения $2mH \cdot \frac{1}{2} l = m \cdot H \cdot M / H$ или $MH \sin \varphi$ если магнитъ составляетъ уголъ φ съ направлениемъ силы. Следовательно, MH есть направляющая сила. Если магнитъ стрелки есть A (стр. № 12), то для перехода колебания справедливо соотношение $P^2 \pi^2 = K \cdot MH$. Для магнитона, могущаго вращаться въ горизонтальной плоскости, H есть горизонтальная составляющая напряженности поля.

Пусть для примѣра $H = 0.2 \text{ см} \cdot \text{г} \cdot \text{сек}^{-1}$. Пусть тонкий магнитъ вѣситъ 20 г. и имѣетъ 10 см длины, такъ что $A = 20 \cdot 10^2 \cdot 12 = 167 \text{ см}^2 \cdot \text{г} \cdot (29 \text{ л})$. Магнитный моментъ стрелки пусть будетъ $M = 400 \text{ см}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{сек}^{-1}$. Тогда

$$t = 3.14 \sqrt{167 (400 \cdot 0.2)} = 4.5 \text{ сек.}$$

Отклоненіе магнитной стрѣлки. Пусть стрѣлка съ магнитнымъ моментомъ M' находится въ магнитномъ полѣ H . Пусть по направлению перпендикулярному къ полю на нее действуетъ моментъ вращения $P \cdot M'$ происходящій, напримѣръ, отъ присутствія отклоняющаго магнита или электрическаго тока. Стрѣлка установится тогда отклонившись на уголъ φ , при которомъ возмущающій моментъ вращения $H M' \sin \varphi$ равенъ отклоняющему $P \cdot M' \sin (90^\circ - \varphi)$ или $P \cdot M' \cos \varphi$. Отсюда

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P}{H}$$

Магнитныя силовыя линіи. Магнитная индукція. Потокъ индукціи. Проницаемость. Направление силы и напряженіе магнитнаго поля въ каждомъ мѣстѣ представляются направлениемъ и густотою силовыхъ линій, подѣ густотою подразумѣвается число линій, приходящихся на единицу площади, поставленной перпендикулярно къ ихъ направлению. Отъ магнитнаго полюса $+$ и или $-$ въ окружающее пространство расходятся $4\pi m$ положительныхъ или отрицательныхъ единичныхъ силовыхъ линій. Ср. то, что было сказано объ электрическихъ силовыхъ линіяхъ въ № 15.

Магнитное поле между двумя магнитными полюсами. Пусть два широкихъ, равныхъ по величинѣ, равномерно намагниченныхъ противоположными магнетизмами полюса, обладающихъ каждою площадью f и полнымъ напряжениемъ m , расположены другъ противъ друга на столь маломъ разстояніи, что всѣ $4\pi m$ силовыя линіи безъ замѣтнаго „разсѣянія“ направляются прямолинейно отъ одного полюса къ другому. Такъ какъ эти

линии распределены по площади f , то напряжение поля между полюсами $\mathcal{E} = \frac{4\pi m}{f} = 4\pi \frac{m}{f}$. Величину m/f называют плотностью свободного магнетизма на плоскостях полюсовъ.

Число единичныхъ силовыхъ линий, пронизывающихъ поперечное сѣченіе магнитнаго тѣла, называютъ обыкновенно потокомъ индукціи внутри этого тѣла. Единица потока индукціи (другими словами, CGS-единичная силовая линия) называется 1 „максвеллъ“.

Плотность силовыхъ линий, т. е. число линий, пронизывающихъ единицу поперечнаго сѣченія, называется магнитной индукціей. Если въ тѣлѣ, способномъ намагничиваться, дѣствующее въ немъ напряжение поля \mathcal{E} производитъ магнитный моментъ M въ единицѣ объема (намагниченность J), то к M/J называется коэффициентомъ намагниченности („восприимчивостію“) вещества. Черезъ единицу поперечнаго сѣченія этого тѣла провѣиваютъ тогда магнитную индукцію H . Если J силовыхъ линий, к которымъ относятся еще M силовыхъ линий намагниченности поля, такъ что всего получается $4\pi J + H$, то $H = (4\pi k - 1)J$. Это напряжение обозначается буквой \mathcal{H} и есть, слѣдовательно, магнитная индукція въ тѣлѣ. Потокъ индукціи сквозь поперечное сѣченіе f есть произведеніе $(4\pi k - 1)J \cdot f$ или $4\pi Jf$.

$4\pi k - 1$ и называется магнитной проницаемостію тѣла.

Какъ мы увидѣли не только отъ сорта жѣла, они измѣняютъ свою величину, также и при измѣненіи силы намагнитившаго, ибо по мѣрѣ увеличенія намагничивающей силы, измѣненіе позрѣваетъ лишь до извѣстнаго предѣла.

Электрическія единицы въ электромагнитной системѣ

Здѣсь необходимо, для удобства тому, по какому пути при установленіи электромагнитной системъ, сначала опредѣляютъ единицу силы тока и отсюда выводятъ единицу количества электричества.

22. Сила тока въ электромагнитной мѣрѣ $[I] = [m' l^{-1}]$. Единица Вебера. Единицу даетъ токъ, единица длины котораго (1 см.) на единичный магнитный полюсъ производитъ (поперечную) силу въ 1 дину, ср. № 7. Дѣствующій отрѣзокъ тока слѣдуетъ представлять себѣ соизумымъ въ дугу круга съ радиусомъ въ 1 см.

Необходимъ отрѣзокъ тока длины l съ силой тока i дѣствуетъ на магнитный полюсъ, а дѣйствующій на него радиусъ къ l въ разстояніи R съ силой $k = m' / R^2$. Отсюда вывести размѣрности $[i] = [R k m']$ или, если поставитъ $k = \text{дин} / \text{м}^2$ и $m' = \text{дин} \cdot \text{см}^2$, ср. № 7 и 19, $[i] = [e \cdot \text{см} / \text{с}^2]$.

Изъ этого зѣла вывести слѣдующія соотношенія въ плоской замкнутой току.

Круговой токъ i радиуса R оказываетъ на полюсъ m' дѣйствіе въ центрѣ силу $k = m' / 2\pi R^2 = m' / 2\pi R$; ср. 81.

Вѣдѣющее дѣйствіе e въ разстояніи R болѣе, по сравнению съ его размѣромъ, состоитъ изъ e / R^2 дѣйствіе, предѣльно свѣдѣно въ перпенди-



сильномъ направленн магнита съ магнитнымъ моментомъ ef гдѣ f означаетъ площадь, обтекаемую токомъ e . Катушка изъ n оборотовъ на каждомъ см всей длины, обтекаемая токомъ e , производитъ во внешнемъ пространствѣ такое дѣйствіе какъ будто ея полюсны поверхности выложены свободнымъ магнетизмомъ съ плотностью en . Внутри такой катушки, имѣющей прямолинейную форму имѣется магнитное поле обладающее въ мѣстахъ, достаточно удаленныхъ отъ конечныхъ поверхностей постояннымъ напряжениемъ $4\pi en$ (110).

Практическая единица силы тока. Подъ названіемъ амперъ употребляется въ качествѣ единицы измѣренія 10-я часть вышеуказанной CGS-единицы. Токъ въ 1 амперѣ означаетъ что 1 смъ электролитически 1.118 мг серебра.

23. Количество электричества въ электромагнитной мѣрѣ $q = [P \cdot m]$. Единицей служить количество электричества, переносимое токомъ, равнымъ единицѣ, въ единицу времени черезъ поперечное сѣчение цѣпи. Единица эта во много разъ больше электростатической единицы № 14, ибо содержитъ $300 \cdot 10^9$ такихъ единиц.

Практической единицей служить то количество электричества, которое при силѣ тока 1 амперъ протекаетъ черезъ поперечное сѣчение проводника въ 1 смъ. Оно называется ампер-секундой или кулономъ и содержитъ, следовательно, $300 \cdot 10^9$ электростатическихъ CGS-единицъ.

24. Электродвижущая сила, напряжение или разность потенциаловъ въ электромагнитной мѣрѣ $E = [P \cdot m \cdot t^{-2}]$; см. 100.

Въ электромагнитной системѣ потенциаломъ называютъ также величину, дѣленіе (см. № 16) которой въ извѣстномъ мѣстѣ представляетъ дѣйствующую тамъ на единичное количество электричества силу. Отсюда неаккуратно слѣдуетъ что въ электромагнитной мѣрѣ CGS единица потенциала въ $300 \cdot 10^9$ разъ меньше, чѣмъ въ электростатической мѣрѣ, потому что единица силы остается та же, а единица количества электричества (ср. № 23) въ $300 \cdot 10^9$ разъ больше.

Разность потенциаловъ между двумя точками, напримѣръ, въ цепи тока, называютъ напряжениемъ или разностью напряженій между этими точками. Разность потенциаловъ по обѣимъ сторонамъ мѣста соприкосновения различныхъ проводниковъ называется электродвижущей силой. Электродвижущей силой гальваническаго элемента называютъ разность напряженій существующую между полюсами элемента въ разомкнутомъ состояніи, она представляетъ собою результирующую электродвижущихъ силъ существующихъ на отдѣльныхъ пограничныхъ поверхностяхъ.

Другого рода электродвижущая сила, именно распределенная и, по которому отрѣзку цѣпи, получаются посредствомъ магнитнаго индукціи, изъ нихъ можно вывести ту же единицу силы, дающую, напримѣръ, обрѣзомъ



Пусть в магнитном поле H движется со скоростью 1 м/сек перпендикулярно к себе саму и к направлению поля проводник, расположенный перпендикулярно к направлению поля. Электродвижущая сила, наведенная при этом в каждом 1 м проводника, представляет собою единицу CGS. Вместо этого можно также сказать: электродвижущая сила единицы индуцируется в проводнике, движущемся в магнитном поле так, что в 1 м пересякается одно силовое линии (№ 21).

Другое, тождественное с вышеприведенным, определение единицы электродвижущей силы получается из рассмотрения мощности. Именно, единицею служит электродвижущая сила, которая, производя ток, равный единице, дает в секунду единицу работы, например, возбуждает в 1 м ток (который в этом случае, согласно № 27, должен иметь единицу скорости) количество тепла, эквивалентное единице работы.

Практическая единица вольты — 10^8 электромагнитных CGS-единиц.

1 Дина в приближении 10^{-5} вольт. 1 аккумулятори — 10^8 вольт, о термических единицах см. № 11. Электростатическая CGS-единица потенциала (№ 16) — 300 вольт; ср. выше.

25. **Емкость в электромагнитной мере** $[1/1/1]$. Единицей обладает конденсатор, который при напряжении единицы (или поле действует единице электродвижущей силе) воспринимает количество электричества, равное единице.

Так как в электродинамике CGS систем единица заряда весьма мала, то единица количества электричества весьма велика, до такой конденсатор может быть бы имел колоссальные размеры.

В практической системе единицей служит емкость конденсатора, который от 1 вольта заряжается количеством электричества 1 ампер-секунда. Эта единица называется фарадом. Она в 10^9 раз меньше, чем CGS-единица, но все-таки настолько громадна, что емкости обыкновенно выражаются в микрофарадах, т. е. в миллионных долях фарада.

26. **Коэффициент электрической индукции** S $[1/]$ Коэффициент индукции проводника равен единице, если изменение тока со скоростью, равной единице, наводит в нем электродвижущую силу, равную единице.

Если изменить ток в проводнике на dI в короткое время dt наводит в том же проводнике электродвижущую силу $S \cdot dI/dt$ то S называется коэффициентом индукции или самоиндукции проводника. Ср. 112

Практическая единица Проводникъ имѣетъ коэффициентъ индукции единицу если въ немъ индуцируется 1 вольтъ равномернымъ измѣненіемъ тока на 1 *амперъ сек.* Эта единица называется **квадрангомъ или генри**.

Поясненіе къ № 27 и 28. Здѣсь принять за основаніе во-первыхъ, законъ Омъ (стр. 80), по которому электродвижущая сила (напряженіе) E въ сопротивленіи R вызываетъ токъ $i = E/R$, во-вторыхъ, законъ Джоуля-Расселоваго о теплотѣ (В. Томсона, К. Уатсона) выражающій что количество теплоты развиваемое въ единицу времени токѣмъ i въ сопротивленіи R въ абсолютной мѣрѣ (стр. № 4) равно $Q = i^2 R$ или такъ какъ $i = E/R$ имѣетъ это можно сказать электродвижущую силу E , вызывающую токъ i возбуждаетъ въ ней въ единицу времени количество теплоты $Q = E^2/R$.

27. Сопротивленіе проводника въ электромагнитной мѣрѣ $[H^{-1}]$ Единица равняется сопротивленію проводника, въ которомъ единица электродвижущей силы вызываетъ токъ, равный единицѣ.

Такъ какъ сопротивленіе электродвижущей силы дѣленіемъ на токъ, то размерность его есть $[V/m + 2] [A^{-1} m + 1] [H^{-1}]$ Сопротивленіе оказывается съ кимъ образомъ равнозначнымъ со скоростью.

Вмѣсто вышесказаннаго можно выразиться также слѣдующимъ образомъ сопротивление равно единицѣ, если единица силы тока возбуждаетъ въ немъ въ течение 1 *сек* количество теплоты, эквивалентное единицѣ работы, ср. №. 9 и 24, а также III.

Практическая единица Единицу сопротивления имѣетъ проводникъ, въ которомъ электродвижущая сила въ 1 вольтъ возбуждаетъ токъ въ 1 амперъ, эта единица называется **омомъ** Такъ какъ 1 вольтъ 10^8 , а 1 амперъ 10^{-1} CGS, то 1 омъ 10^9 *абс. сек.*

Международный омъ определяется, какъ сопротивление столба ртути въ 1 cm^2 поперечнаго сѣченія и въ 100,3 cm длины при 0^0

Удельное сопротивленіе $[H^2 l]$ и электропроводность $[H^{-1} l]$. Удельное сопротивленіе единицу и проводимость единицу имѣетъ проводникъ, кубическій сантиметръ котораго имѣетъ сопротивление единицу, практически, слѣдовательно, сопротивление 1 ома.

Ртуть при 0^0 имѣетъ удѣльное сопротивление $10000000 [cm \cdot \text{ом}]$ или удѣльное сопротивленіе $00000000 [cm \cdot \text{ом}]$ и $10^7 [cm \cdot \text{абс. сек.}]$ Наилучше проводящие металлы обладаютъ электропроводностью приблизительно въ 600000, наилучше проводящие электролиты при комнатной температурѣ приблизительно $0.7 [cm^{-1} \cdot \text{ом}^{-1}]$.

28. **Мощность тока, работа или энергия тока, теплота тока;** ср. № 9, 10, 24 и 27. Токъ производитъ работу хотя бы тѣмъ, что возбуждаетъ теплоту въ проводочномъ сопротивленіи; онъ доставляетъ количество работы, равное единицѣ, въ томъ случаѣ, если имъ развивается количество тепла, эквивалентное единицѣ работы. Мощностью тока называютъ работу, производимую токомъ въ 1 сек; мощность тока, равная единицѣ, имѣется, напримеръ, въ проводникѣ съ сопротивленіемъ единица, когда по немъ течетъ токъ единица, или, что то же самое, когда на этотъ проводникъ дѣйствуетъ электродвижущая сила единица Ср 49, 104, 111.

Практическая единица мощности есть вольтъ-амперъ, т. е. мощность, даваемая электродвижущей силой 1 вольтъ, когда она возбуждаетъ токъ въ 1 амперъ; единица эта называется 1 ваттъ 10^7 CGS.

Единица работы тока есть, слѣдовательно, ваттъ-секунда или „джауль“ 10^7 эрговъ 0.239 гр-кал; ср. ниже.

Такъ какъ 1 амперъ 0.1 CGS а 1 вольтъ 10^8 CGS (ср № 22 и 27), то 1 ваттъ, слѣдовательно, означаетъ мощность въ 10^7 CGS или въ 10^9 гр-кал или 1 *джоуль* сек. Въ переводѣ на работу поднятія груза это равносильно $10^7 \cdot 9810000 = 0.102$ *метр-килограмм-вѣсъ* сек или $0.102 \cdot 75 = 0.0075$ лошадиныхъ силъ, 1 киловаттъ $= 1$ *36* лошадиныхъ силъ Въ переводѣ на теплоту, на основаніи № 9, получается $10^7 \cdot 11900000 = 0.239$ *гр-кал* сек, токъ въ 1 амперъ развиваетъ, слѣдовательно, въ сопротивленіи въ 1 омъ количество тепла 0.239 *гр-кал* въ секунду 1 ваттъ часъ соответствуетъ 860 *гр-кал* 1 киловаттъ-часъ (въ технике освѣщенія стояцій приблизительно 25 коп.) равенъ леву теплоты, развиваемой при сгораніи 100 г каменнаго угля

2. О точности измереній

Важнѣйшее правило при выполненіи каждаго измѣренія состоитъ въ томъ, чтобы вѣрно оцѣнить точность результата въ зависимости отъ основаній и цѣлей измѣренія. Слишкомъ высокая оцѣнка точности бываетъ въ перихѣхъ, тогда, когда авторъ измѣренія, обманывая себя и другихъ, даетъ слишкомъ большое количество цифръ. Однако еще чаще та же ошибка встрѣчается въ другой формѣ, переопишивъ съ самаго начала окончательный результатъ, выполняя отдѣльныя части работы съ безцѣльной тщательностью или съ ненужной точностью вносятъ поправки. Опредѣленіе плотности, при которомъ непосредственное измѣреніе объема произведено съ возможной ошибкой 10^{-4} и³, или приготовленіе раствора соли, масса которой вслѣдствіе гигроскопичности извѣстна съ точностью, не превышающей одного процента, въ сущности не улучшаются отъ того, что взвѣшивание производится съ точностью до 1 мг. Если измѣряется электропроводность электролита, температура котораго извѣстна съ точностью до 1° , то уже изъ одного послѣдняго обсто-

тельности слѣдуетъ, что въ величинѣ электропроводности нельзя ручаться приблизительно за 10% , и возможная ошибка не уменьшается отъ того, что самую электропроводность измѣряютъ съ особой точностью.

Вообще при измѣреніяхъ нерѣдко стремятся къ ненужно большой точности, и поэтому труды пропадаютъ напрасну. На это слѣдуетъ обращать вниманіе между прочимъ при такихъ объектахъ, которые сами по себѣ не строго опредѣлены. Сюда относятся напримѣръ свойства многихъ твердыхъ веществъ, въ особенности органическихъ. Изъ числа этихъ свойствъ плотность, упругость, твердость, электрическія и термическія свойства какъ напримѣръ, различныя электропроводности совершенно даже не могутъ быть определены, какъ свойства вещества, какъ потому, что они не представляютъ собою величинъ постоянныхъ, а зависятъ отъ свойствъ, недоступныхъ определению достаточной точностью, какова напримѣръ гигроскопичность, такъ и потому, что во многихъ частяхъ они колеблются даже въ предѣлахъ изслѣдуемаго куска. Приводить удѣльный вѣсъ даннаго вида дерева съ точностью до $1/1000$ вообще не имѣетъ никакого смысла.

Къ обычнымъ видамъ слишкомъ низкой оцѣнки точности результатовъ, съ другой стороны принадлежитъ ошибочный образъ дѣйствій, при которомъ не замѣчаютъ или не обращаютъ достаточнаго вниманія на побочныя обстоятельства во время измѣренія. Прежде всего это можно сказать относительно температуры: обращать на нее вниманіе можно сказать почти при всѣхъ обстоятельствахъ, предосторожность къ которой наблюдатель привыкаетъ не слишкомъ скоро, и которая учтена въ особенности тогда, когда влияние температуры на явленіе еще не извѣстно.

Обладать критическимъ взглядомъ въ ту и другую сторону, вотъ предвѣтительное условіе цѣлесообразной работы, выработать въ себѣ этотъ критическій взглядъ, если это еще нѣтъ главной цѣли физическаго практикума.

Сюда принадлежитъ прежде всего правильная оцѣнка возможныхъ ошибокъ результатовъ наблюденія. Рѣшительное сужденіе о нихъ можетъ быть выведено попервыхъ, изъ согласія отдѣльныхъ результатовъ, во-вторыхъ, изъ разсмотрѣнія методовъ.

3. Ошибки наблюденій; средняя и вѣроятная ошибки

Если одна и та же величина измѣрена нѣсколько разъ, то степень согласованія отдѣльныхъ результатовъ представляетъ средство составить сужденіе о вѣроятныхъ предѣлахъ погрѣшностей. Мы допускаемъ, что отдѣльныя опредѣленія, по условіямъ ихъ выполненія, всѣ обладаютъ одной и той же степенью надежности. Тогда, какъ извѣстно, среднее арифметическое изъ отдѣльныхъ полученныхъ результатовъ даетъ вѣроятнѣйшее значеніе искомой величины.

Было бы неправильно исключать изъ ряда наблюденій нѣкоторыя изъ нихъ на томъ только основаніи, что они не согласуются съ большинствомъ. Среднее арифметическое само сообразуется съ вѣроятностью болѣея ошибки

при болѣе значительномъ отклоненіи какого-нибудь числа какъ единственное среди многихъ это число оказываетъ незначительное влияние на среднее значеніе.

Сравнивая отдѣльные числа съ среднимъ, находятъ большія или меньшія разности, „ошибки“, по величинѣ которыхъ оцѣниваютъ вѣроятную точность одного наблюденія или результата по слѣдующимъ правиламъ. Составляютъ сумму квадратовъ ошибокъ. Раздѣливъ эту сумму на число отдѣльныхъ наблюденій безъ одного, получаютъ квадратъ средней ошибки; квадратный корень изъ него называютъ средней ошибкой ϵ отдѣльнаго наблюденія.

Если раздѣлить ϵ на корень квадратный изъ числа наблюденій, получается какъ называемая средняя ошибка E результата.

Въ теоріи вѣроятностей выводится теорема, что умноженіе средней ошибки на 0.674 (число очень близкое къ $\frac{1}{2}$) даетъ вѣроятную ошибку. Этимъ хотятъ сказать, что съ одинаковой вѣроятностью можно утверждать какъ то, что сдѣланная ошибка меньше выведенной такимъ образомъ „вѣроятной ошибки“, такъ и то, что она больше послѣдней. По обстоятельству, что найденное число съ одинаковой вѣроятностью можетъ быть больше или меньше истиннаго, выражаютъ тѣмъ, что ставятъ предъ ошибкой знаки \pm .

Если обозначить черезъ

n число отдѣльныхъ опредѣленій,

$\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ отклоненія ихъ отъ средняго арифметическаго ихъ,

S сумму квадратовъ ошибокъ, т. е:

$$S = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2,$$

то, слѣдовательно, средняя ошибка

отдѣльнаго измѣренія

средняго

$$\epsilon = \sqrt{\frac{S}{n-1}} \quad E = \pm \sqrt{\frac{S}{n(n-1)}} = \frac{\epsilon}{\sqrt{n}}.$$

Вѣроятная ошибки составляютъ $\frac{1}{2}$ этихъ.

Вычисленныя такимъ образомъ величины выражаютъ, разумѣется, лишь ту часть погрѣшности, которая обусловлена случайными ошибками наблюденія, то-есть, такими, вслѣдствіе которыхъ одинаково часто получаются какъ слишкомъ большія, такъ и слишкомъ малыя числа. Но кромѣ того могутъ быть постоянныя ошибки, причина которыхъ можетъ заключаться, напримѣръ, въ методѣ и опредѣленіе которыхъ составляетъ особую задачу.

Примѣръ. Плотность дѣла была опредѣлена десять разъ

Найдено	Δ	Δ^2
9-662	0-0019	0-000036
9-673	+ 091	083
9-664	+ 001	0-00
9-659	- 049	024
9-677	+ 131	172
9-662	- 019	004
9-664	009	001
9-680	+ 161	259
9-645	- 189	357
9-654	- 0-0039	0-000015

Среднее 9-6634

Σ 0-001002

Слѣдуетъ изъ средняго показанія одного измѣренія $\pm \sqrt{\frac{0-001002}{10}} = 0-011$,
 средняя ошибка средняго результата $E = 0-011 \sqrt{10} = 0-033$.
 Отсюда вѣроятныя ошибки соответственно 0-007 и 0-0022.

Можно поэтому считать, что въ данномъ случаѣ ошибка отдельнаго изрѣченія плотности меньше 0-007. Случайно на самомъ дѣлѣ, пять изъ Δ меньше и пять больше 0-007.

4. Оцѣнка ошибки изъ метода; вліяніе ошибокъ наблюденій на результатъ

Вообще, результатъ не прямо дается наблюденіемъ, а долженъ быть выведенъ изъ него или изъ нѣсколькихъ наблюденій вычисленіемъ: на примѣръ, вѣсъ изъ отчетовъ изъ шкалъ вѣсовъ, плотность изъ времени истечения сѣды электрическаго тока изъ угла отклоненія, удѣльный вѣсъ изъ нѣсколькихъ вывѣшиваній, модуль упругости изъ измѣреній длины. Отсюда возникаетъ задача опредѣлить ошибку результата, втекающую изъ ошибокъ наблюденной величины.

Цѣлью этого вычисленія ошибокъ можетъ быть, кромѣ оцѣнки точности самаго результата, сужденіе о томъ, въ какой мѣрѣ получены сокращенія въ вычисленіи, или рѣшится вопросъ, къ какой части измѣреній слѣдуетъ отнести съ наибольшей тщательностью. Кромѣ того часто на нашей власти подбирать условия опыта различными образомъ: измѣненіе погрѣшностей позволяетъ опредѣлить, при какомъ расположеніи опыта вліяніе ошибокъ наблюденій на результатъ наименьшее.

Назовем искомый результат (например силу тока) x , наблюдаемую величину (угол отклонения) x , тогда x определяется, как функция от x , известным математическим выражением, в которое входит x . Если теперь обозначим через ξ ошибку, допущенную в x , то обусловленная этим ошибка в x , которую назовем z , найдется, если в выражении, из которого x вычисляется, вместо x подставим $x + \xi$. При этом, разумеется, ошибка ξ должна быть выражена в тех же единицах, что и сама величина x . Теперь мы получим результат, несколько отличный от истинного значения x ; величина разности и есть ошибка z .

Если ошибки наблюдений относительно малые величины, то эти вычисления весьма упрощаются применением приближенных формул для вычислений над малыми величинами. Данные в § 5 формулы в большинстве случаев достаточны для этой цели. Несколько примеров разъясняют это.

1 Пример. Положим, что плотность газа d определяется из времени истечения t данного количества газа по формуле $d = C/t$, где C постоянная, определенная для данного прибора. Спрашивается, как велика будет погрешность δ нашего результата, если при определении t была допущена малая относительная ошибка τ . Имеем дифференциальное уравнение $\delta = C'(t - \tau)^2$. Для правой части уравнения пишем, согласно § 2,

$$(t - \tau)^2 = (t^2 - 2t\tau + \tau^2) \approx t^2 - 2t\tau, \quad \text{так как } \tau \ll t, \quad \text{тогда } \delta \approx C'(t^2 - 2t\tau) = 2d\tau/t.$$

Следовательно, ошибка результата $\delta \approx 2d\tau/t$, откуда $\frac{\delta}{d} \approx 2 \frac{\tau}{t}$. Итак, относительная ошибка при вычислении d вдвое больше относительной ошибки, допущенной при определении t .

Такое удваивание происходит всегда, когда результат зависит от квадрата наблюдаемой величины, например при выводе модуля упругости из скорости звука или при определении силы света облученным фототром. Наоборот, очевидно, что относительная ошибка наблюдения скажется на результате лишь вполкрату, если он содержит корень квадратный от наблюдаемой величины и значит, такой метод *certis rebus* вчетверо выгоднее первого.

2 Пример. Допустим, что сила электрического тока определяется из угла отклонения x тангенс-буссоли по формуле $i = C \lg x$, где C постоянная множитель. Если погрешность отчета равна z , то z , погрешность в i , определяется из уравнения (см. также § 1)

$$z = C \lg(x + z) - C \lg x = C \lg \left(1 + \frac{z}{x} \right) \approx \frac{C}{\cos^2 x} \frac{z}{x}.$$

согласно формулѣ 10 III (стр. 27) Следовательно:

$$z = \frac{\varepsilon}{\cos^2 x} = \frac{\varepsilon}{\sin x \cos x} = \frac{2\varepsilon}{\sin 2x}$$

Такимъ образомъ $2\varepsilon \sin 2x$ выражаетъ въ доляхъ z ошибку, соответствующую ошибкѣ отчета ε . Отсюда следуетъ что уголъ приблизительно въ 15° наиболее выгоденъ, такъ какъ при $x = 15^\circ$ знаменатель $\sin 2x$ достигаетъ максимальнаго значенія, единицы.

3. Примеръ. Определение плотности жидкостной глыбы. Если m нѣсь глыба въ воздухѣ, m' въ водѣ, то плотность $\rho = \frac{m}{m - m'}$. Следовательно, ρ соответствуетъ здѣсь величинѣ, обозначенной на стр. 24 черезъ z , m или m' отвѣчаютъ x .

Ошибки въ m и m' можно разсматривать отдельно, такъ какъ оба наблюденья не зависятъ другъ отъ друга. Если бы при взвѣшиваніи въ воздухѣ мы допустили ошибку μ , то имѣли бы $m + \mu$ вмѣсто истиннаго нѣса m и получили бы следовательно плотность $\frac{m + \mu}{m + \mu - m'}$.

Примѣняя формулу 8, стр. 27 мы можемъ это выражение написать такъ:

$$\frac{m}{m - m'} \frac{1 + \frac{\mu}{m}}{1 - \frac{\mu}{m - m'}} = \frac{m}{m - m'} \left(1 + \frac{\mu}{m} - \frac{\mu}{m - m'} \right) = \frac{m}{m - m'} + \frac{\mu}{m - m'}.$$

Ошибка результата есть, следовательно $\sigma = \mu \rho^2 (m - m')^2$.

Если, съ другой стороны, станемъ разсматривать ошибку μ' допущенную при взвѣшиваніи въ водѣ и вмѣсто m' поставимъ $m' + \mu'$, то результатъ съ ошибкой будетъ, какъ выше:

$$\frac{m}{m - (m' + \mu')} = \frac{m}{m - m'} \frac{1}{1 - \frac{\mu'}{m - m'}} = \frac{m}{m - m'} \left(1 + \frac{\mu'}{m - m'} \right).$$

Такимъ образомъ результатъ оказался бы и такъ истиннаго на

$$\sigma = \mu' \rho^2 (m - m')^2.$$

Численный примѣръ. Глыба стр. 23 вѣситъ въ воздухѣ круглыми вѣсами $m = 2436$ въ водѣ $m' = 2184$ г. Наибольшую точность вѣсовъ можно было оцѣнить въ $\mu = 0.02$, при взвѣшиваніи же въ водѣ менѣе точно, вследствие тренья въ водѣ въ $\mu' = 8.02$ мг. Внесемъ все эти величины въ z и поставимъ въ предыдущія формулы μ и μ' имѣемъ:

ошибка σ происходящая отъ $\mu = 0.0017 = \frac{18.1}{10^4} \approx 2^2 = 0.0017$,

ошибка σ' происходящая отъ $\mu' = 0.0048 = \frac{11.6}{10^4} \approx 2^2 = 0.0041$.

Въ неблагоприятномъ случаѣ, если, напримеръ для m было найдено слишкомъ малое число μ для m большое оцѣна ошибки была бы 0.0048. Следовательно если въ нѣкоторыхъ изъ опредѣленій (стр. 23) обнаруживаются извѣстными большія отклоненія то должно быть иное исчисленіе ошибки кромѣ неточности взвѣшиванія (шумъ въ воздухѣ, неточное опредѣленіе температуры, ошибочный подсчетъ разностей).

1. Примеръ. Ускореніе силы тяжести g находится изъ длины l и периода колебанія t нитянаго маятника по выраженію $g = \pi^2 l / t^2$. Требуется

опредѣлить ошибку γ входящую въ q вследствие того, что l и t были определены съ погрѣшностями соответственно λ и τ . Влияніе обѣихъ этихъ ошибокъ могутъ быть разсмотрѣны совместно. По ур. 2 и 8 стр. 27

$$q \cdot \gamma = \pi^2 \frac{l + \lambda}{(t - \tau)^2} = \pi^2 \frac{l}{t^2} \frac{1 + \lambda/l}{(1 - \tau/t)^2} \cdot q \frac{1 + \lambda/l}{1 - 2\tau/t} = q \left(1 + \frac{\lambda}{l} - 2 \frac{\tau}{t} \right) \\ = g + g \left(\frac{\lambda}{l} - 2 \frac{\tau}{t} \right).$$

Слѣдовательно, $\frac{\gamma}{q} = \frac{\lambda}{l} - 2 \frac{\tau}{t}$, т. е. относительная ошибка въ l входитъ просто, ошибка въ t двоянѣ.

Слѣдуетъ однако обратить вниманіе еще на слѣдующее. Для нахождения максимальной ошибки въ q истинъ какъ это можетъ доказаться, судя по выражению для $\frac{\gamma}{q}$, вычитать ошибку членъ исл. притока не въѣдъ, больше ли наблюденіе l чѣмъ истинное — или меньше въ послѣднемъ случаѣ слѣдуетъ бы издѣлать итд. членъ исл. притока. При вычит. се. итд. наибольшей возможной ошибки результаты частичныя ошибки всегда складываются.

Въ заключеніе укажемъ еще на слѣдующее. Въ полное выраженіе, по которому вычисляется результатъ, входятъ обыкновенно кромѣ главныхъ величинъ еще поправки. При вычисленіи погрѣшности ихъ отбрасываютъ, если только не имѣютъ въ виду издѣлать собственно ихъ влияние.

5. Правила приближенного вычисленія надъ малыми величинами

Часто бываетъ возможнымъ привести математическое выраженіе въ которомъ нѣкоторыя величины очень малы по сравнениюъ съ другими къ виду, болѣе удобному для вычисленія. Въ большинствѣ случаевъ проще всего принять сперва выраженію формулу содержащую поправочную величину лишь въ одномъ членѣ приближаемся къ 1. Если конечно, эта форма не дана уже готово. Постѣ этого часто оказывается возможнымъ приблизить для упрощенія одну изъ слѣдующихъ формулъ.

Величины обозначенныя чертой δ и ϵ должны быть настолько малы по сравнениюъ съ 1 чтобы можно было пренебречь по сравнениюъ съ 1 какъ ихъ высшими степенями δ^2 , ϵ^2 такъ и произведеніями ихъ $\delta \epsilon$, $\delta \epsilon^2$, которыя понятны очень малы по сравнениюъ и съ самой δ и ϵ . Если, на примѣръ, $\delta = 0.001$, то $\delta^2 = 0.000001$. Далеко если на примѣръ $\epsilon = 0.0005$, то $\delta \epsilon = 0.0000005$. Часто бываетъ что нѣсколько тѣсныхъ еще имѣютъ значеніе, мил. тонны же, напротивъ, безразличны.

При этихъ условіяхъ имѣютъ мѣсто слѣдующія формулы въ которыхъ выраженія вправдъ отъ знака равенства часто бываютъ удобны для вычисленія. Формулы съ 2 до 6 представляютъ частные случаи формулы 1

Величина съ δ или берется въ формулѣ повсюду или съ верхнимъ знакомъ или съ нижнимъ.

- | | | |
|----|---|--|
| 1) | $(1 + \delta)^m = 1 + m\delta.$ | $(1 - \delta)^m = 1 - m\delta.$ |
| 2) | $(1 + \delta)^2 = 1 + 2\delta.$ | $(1 - \delta)^2 = 1 - 2\delta.$ |
| 3) | $\sqrt{1 + \delta} = 1 + \frac{1}{2}\delta.$ | $\sqrt{1 - \delta} = 1 - \frac{1}{2}\delta.$ |
| 4) | $\frac{1}{1 + \delta} = 1 - \delta.$ | $\frac{1}{1 - \delta} = 1 + \delta.$ |
| 5) | $(1 + \delta)^2 = 1 + 2\delta.$ | $(1 - \delta)^2 = 1 - 2\delta.$ |
| 6) | $\sqrt{1 + \delta} = 1 + \frac{1}{2}\delta.$ | $\sqrt{1 - \delta} = 1 - \frac{1}{2}\delta.$ |
| 7) | $(1 + \delta)(1 + \epsilon)(1 + \zeta) \dots = 1 + \delta + \epsilon + \zeta.$ | |
| 8) | $(1 + \delta)(1 + \epsilon)(1 + \eta) \dots = 1 + \delta + \epsilon + \eta + \dots$ | |

Даны ϵ , δ и η средняго геометрическаго двухъ мало отличающихся величинъ p_1 и p_2 можно найти среднее арифметическое. Действительно (стр. 28)

- | | |
|------|---|
| 9) | $\sqrt{p_1 p_2} = \frac{1}{2}(p_1 + p_2).$ |
| Далѣ | $\sin(x + \delta) = \sin x + \delta \cos x, \quad \sin \delta = \delta,$ |
| 10) | $\cos(x + \delta) = \cos x - \delta \sin x, \quad \cos \delta = 1,$ |
| | $\lg(x + \delta) = \lg x + \frac{\delta}{\cos^2 x}, \quad \lg \delta = \delta.$ |

Вспомогательныя ϵ и δ служатъ угломъ (стр. 33) для котораго дуга равна радиусу.

Примѣры на примѣненіе смотри 4, въ концѣ.

6. Поправки и ихъ вычисленіе

При точныхъ измѣреніяхъ наблюденія подлежатъ обыкновенно поправкамъ, нередко занимающимъ большую часть физическаго работы; несообразное обращеніе съ ними являея основною причиной и притома утомительной работы. Сюда относятся прежде всего погрѣшности приборовъ, напримѣръ, въ масштабахъ, термометрахъ, часахъ, наборахъ равновѣсокъ; неравноплотность вѣсовъ; отклоненія отъ строгой пропорціональности между причиной и слѣдствіемъ, напримѣръ, при измѣреніяхъ по углу отклоненія, затѣмъ поправки, которыхъ требуетъ примѣненіе нѣкоторыхъ законовъ, напримѣръ, при магнитныхъ дѣйствіяхъ на разстояніи и т. п. Далѣе, побочныя вліянія, особенно атмосферныя, каковы потери гравиметра въ воздухѣ, влажность воздуха, колебанія барометра, но прежде всего вліяніе температуры, простирающееся почти на всѣ свойства гравиметра.

Если не обращать вниманія на эти обстоятельства, окончательный непосредственный продуктъ работы окажется большею

частью гораздо ошибочнѣе, чѣмъ думаетъ наблюдатель. Но неизбѣжно, съ другой стороны, и нѣкоторое ограничение, такъ какъ иначе одно единственное измѣреніе, напримѣръ, длины маятника, электропроводности, даже просто массы, можетъ превратиться въ объемистую работу.

Такимъ образомъ прежде всего, еще до наблюдений, должно уяснить себѣ, какъ далеко должны идти поправки, что зависитъ отъ вопроса, насколько точно желаютъ или могутъ работать (см. 2), чтобы не упустить ничего необходимаго и вмѣстѣ съ тѣмъ не записывать слишкомъ много лишняго. Напримѣръ, если при взвѣшиваніи твердой или жидкой массы не обращать вниманія на потерю вѣса въ воздухѣ, то вообще слѣдуетъ ограничиться точностью приблизительно въ 1/1000; если ошибка не должна превышать 1/10000, что представляетъ очень обыкновенное требованіе, достаточно внести среднюю поправку или воспользоваться таблицей, что дѣлается въ полминуты. 1/100000 требуетъ принятія въ расчетъ температуры, барометрическаго давления и неравноплечности вѣсовъ; при 1/10⁶ входитъ гигрометръ и поправки термометра и барометра. Точность въ 1/10⁷, т. е. 0.1 м на 1 кг, составляетъ предметъ цѣлаго сочиненія о необходимыхъ для этого поправкахъ. Обыкновенно, впрочемъ, достаточна точность въ 1/10000; идти выше 1/100000 обыкновенно не позволяетъ несовершенство вѣсовъ. Этимъ въ каждомъ случаѣ заранѣе опредѣляется размѣръ необходимыхъ поправокъ.

Наконецъ, для упрощенія вычисленія поправокъ часто бываютъ пригодны приемъ и приближенная формула, указанные въ 5. Предварительное упражненіе въ такихъ вычисленіяхъ есть условіе точности и притомъ удобства работы.

Примѣры въ этой книгѣ, помимо двухъ слѣдующихъ, даютъ много матеріала для подобныхъ упражненій (между прочимъ 12, 16, 23, 25, 35, 75).

1. Примѣръ. Если вѣсъ тѣла опредѣляется по способу двойного взвѣшиванія, причемъ на одной сторонѣ былъ пущенъ вѣсъ p_1 , на другой p_2 то строго говоря истинный вѣсъ $p = \sqrt{p_1 p_2}$. Но вмѣсто средняго геометрическаго можно взять среднее арифметическое $p = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)$. Въ самомъ дѣлѣ, если написать $p_1 = p + \delta$, $p_2 = p - \delta$, что равносильно $p = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)$, то будетъ

$$\sqrt{p_1 p_2} = \sqrt{p^2 - \delta^2} = p \sqrt{1 - \frac{\delta^2}{p^2}} = p \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\delta^2}{p^2} \right) \text{ (формула 3 стр. 27).}$$

Вѣсы должны быть очень плохо вывѣрены, чтобы δ достигло величины $\mu 1000$. Въ этомъ случаѣ $\delta \cdot \rho^2$ равнялось бы одной полумиллионной, т. е. величинѣ, которая въ сравненіи съ 1 никоимъ образомъ не можетъ приниматься во вниманіе, когда взвѣшиваютъ на такихъ вѣсахъ.

2. Примѣръ Въ 37, при приведеніи барометра къ 0° расширение ртути разсматривается какъ поправочная величина, причемъ принято, что $1/(1 + 0.00018 t)$ (формула 4, стр. 27). При этомъ пренебрегаютъ высшими степенями 0.00018 t . Но очевидно, что, напримѣръ, при $t = 30^\circ$ уже первая изъ нихъ достигаетъ только 0.00003, следовательно по умноженіи на $t = 760$ мм. стлб. лишь около 14 мм. величину, которой здѣсь почти всегда пренебрегаютъ.

Нарочно было бы въ большинствѣ случаевъ непроизводительно обращаться съ расширеніемъ газа, которое развѣ въ двадцать больше.

7. Интерполированіе

Часто бываетъ затруднительно или прямо невозможно подобрать условія опыта, въ точности согласующіяся съ цѣлью изслѣдованія. Положимъ, напримѣръ, требуется получить результатъ (объемъ, плотность, проводимость и проч.) для совершенно определенной температуры или подобрать сопротивление реостата такъ, чтобы стрѣлка гальванометра устанавливалась на определенномъ дѣленіи, напримѣръ, какъ развѣ на нуль, и т. п. Но въ точности осуществить и поддерживать вполне определенную температуру (если это не 0°) трудно, сопротивление точныхъ реостатовъ вообще не поддается произвольной регулировкѣ, такъ какъ можетъ измѣняться лишь скачками.

Въ такихъ случаяхъ часто бываетъ возможно найти искомыя точныя условія путемъ интерполированія изъ наблюденій по соотвѣстству. Пусть x_0 точка, на которой долженъ быть установленъ приборъ, и y_0 искомая величина, соответствующая значенію x_0 . Положимъ, что вмѣсто этого сдѣланы два соотвѣстныхъ наблюденія: y_1 для x_1 и y_2 для x_2 .

Если обѣ установки настолько близки другъ къ другу и къ x_0 , что въ этихъ предѣлахъ измѣненіе y пропорционально измѣненію x , то, очевидно,

$$(y_0 - y_1) : (x_0 - x_1) = (y_2 - y_1) : (x_2 - x_1),$$

откуда
$$y_0 = y_1 + (x_0 - x_1) \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

Лучше всего брать x_1 и x_2 по разныя стороны отъ x_0 .

Примѣры смотри между прочимъ, въ 10 и 90.

Если предположенной пропорциональности между приращениями x и y нет, то для эмпирического интерполирования нужны, по крайней мере, три соседних наблюдения. Тогда применяется большей частью графическое интерполирование (8).

8. Графическое представление наблюдений

Положим, что величина y наблюдалась при нескольких значениях другой величины x , от которой она зависит, например, чувствительности висков при различных нагрузках, деления шкалы спектрофона соответствующим известным длинам световых волн, удельный вес или другое свойство раствора для нескольких концентраций его или объема, электродвижущая сила растворимости, проводимости и т. п. при различных температурах. Тогда, во каждом случае, чтобы получить возможно скорее наглядное представление о взаимной связи величин, а также их закономерном изменении, представляют их геометрически, нанося на координатную бумагу x как абсциссы, y как ординаты. Нанесенные точки соединяют кривой. Часто мы не знаем простого математического закона для зависимости одной величины от другой; тогда это графическое изображение одно только и дает представление о связи между ними.

Графическое складывание ошибок. Геометрическое представление измеренных значений может служить, как легко видеть, для контроля или улучшения наблюдений. Действительно, ошибки наблюдений обнаруживаются в неправильностях чертежа, но часто бывает возможным проследить правильный ход, несмотря на неправильности, и провести главную кривую. Но при этом этим должно пользоваться осторожно: оно легко может привести к ошибкам, особенно на концах кривой.

9. Числовая выкладки

Вычисление результата может быть произведено лишь с ограниченным числом цифр: это при большей части числовых операций является невозможной полной точностью. Впрочем, во большинстве случаев последняя была бы безцельной.

Вообще держитесь правила сообщать результат с таким числом цифр, чтобы последняя вследствие ошибок наблюдения не претендовала ни на какую точность, тогда как предпоследняя могла бы считаться уже

довольно верно. В случае сомнений лучше брать одной цифрой больше, чем меньше.

Формально все приведенные цифры должны быть верны. Отсюда следует, что, по крайней мере, более точная например, логарифмическая вычисленная при некоторой начальной цифре может постепенно закончиться вследствие отбрасывания следующих цифр ошибкой в несколько единиц, способная нести с собой десятичную больше, чем желательно привести в результате. Нули на последних значащих цифрах и на начал десятичной дроби не идут в счет цифр. Если отбрасываемая значащая цифра больше 5, то это представляется как ошибочно, увеличивается на единицу.

Преувеличение точности вычисления приводит к числу ошибочных ошибок. Подождем, например, что объем s прямоугольного тела определен из трех его измерений полученных разными приборами 10,5, 14,7, 30,9 мм. Привести точный численный результат $v = 5094,865$ значит обнаружить отсутствие критики. В самом деле ошибка измерения Δs или может увеличить или уменьшить результат на 50 мм³. Следовательно достаточно вычислить v равным 5090 мм³ или, в крайнем случае, 5094 мм³ что пропустить умножение сокращения или вычислять по четырем значащим логарифмам. С точностью около 0,1 проценты можно работать и с помощью обыкновенной счетной линейки. Наоборот часто находят частное с слишком малым числом цифр, например определяют удельный вес посредством взвешивания на чувствительных весах с точностью до десятых мг и в результате вычислений получают 2,5 тогда как, может быть, еще 1-я десятичная была бы верной.

9а. О растворах

Концентрация раствора выражается количеством вещества, растворенного или в единице растворителя или в единице (или 100 частях и т. п.) самого раствора.

При последнем, гораздо более употребительном и обыкновенно более удобным определении надо различать, считается ли количество раствора по весу или по объему. Обычное выражение „ p процентный раствор“ подразумевает весовые отношения, т. е. означает, что 100 весовых частей раствора содержат p весовых частей вещества. Число q , характеризующее концентрацию по объему, представляет обыкновенно число граммов вещества, растворенного в 100 см³ (также в 1 см³ или в 1 литр) раствора. Оба определения находятся в соотношении

$$q = ps,$$

где s удельный вес раствора.

Въ случаѣ солей, удерживавшихъ при кристаллизаци воду, надо обращать вниманіе на то, подразумѣвается ли растворенное количество вмѣстѣ съ кристаллизационной водой или безъ нея.

Въ цѣляхъ аналитическихъ и теоретическихъ часто выражаютъ количество раствореннаго вещества не въ граммахъ, а въ граммъ-молекулахъ („Molen“) или въ граммъ-эквивалентахъ. Тогда единица количества составляется изъ числа граммовъ, равнаго молекулярному или эквивалентному вѣсу раствореннаго вещества, опредѣляемому его химической формулой; согласно этому граммъ-молекула сѣрной кислоты образуется изъ $2 \times 32 + 64 = 98$ г, а граммъ-эквивалентъ, въ виду ея двусновности, изъ $98 : 2 = 49$ г.

Подъ нормальнымъ растворомъ понимаютъ растворъ, содержащій 1 граммъ-эквивалентъ въ 1 литрѣ; напримѣръ 36.5 г соляной кислоты ($\text{HCl} = 1 + 35.5$), 40 г какаго натра ($\text{NaOH} = 23 + 16 + 1$), 49 г сѣрной кислоты въ литрѣ раствора.

Содержаніе раствора опредѣляется по количествамъ отмѣренныхъ при его составленіи частей, причемъ для болѣе точныхъ цѣлей привоить вѣса къ пустотѣ (13), или химическимъ анализомъ, или выпариваніемъ, или изъ удѣльнаго вѣса раствора по таблицамъ; см. табл. 3 и, о тепловомъ расширеніи, также табл. 12.

ВЗВѢШИВАНІЕ И ОПРЕДѢЛЕНІЕ ПЛОТНОСТИ

10. Вѣсы и взвѣшиваніе

Взвѣшиваніе производится для опредѣленія массы тѣла за единицу массы¹⁾ принимается граммъ, масса кубическаго сантиметра воды при 4°

Говоря такъ же какъ массы, относятся между собою и силы притяженія, производимыя на эти массы землею, „вѣса на пустомъ пространствѣ“. Въ воздухѣ тѣло вѣдѣствие гидростатическаго выталкиванія терять часть вѣса, равную вѣсу вытѣсненнаго воздуха. Такъ какъ твердые и жидкіе тѣла по меньшей мѣрѣ въ 600 разъ тяжелѣе воздуха, то здѣсь относительно ошибки, происходящая отъ потери вѣса въ воздухѣ не превосходить 1/600. О приведеніи взвѣшиванія къ пустотѣ см. 13.

При обыкновенномъ взвѣшиваніи предполагаютъ, что плечи рычага, на который дѣйствуютъ тѣла и разновѣски равны между собою. Ср. 12.

Нижеслѣдующія правила обращенія съ вѣсами относятся къ тому типу вѣсовъ, который употребляется при химическомъ анализѣ.

1. Установка и испытаніе вѣсовъ

Лезвия и гнѣзда должны быть совершенно чисты. Съ шпиль удаляютъ пыль кисточкой или очищаютъ ихъ кожей. Маленькая пылинка или волокно могутъ испортить установку.

При помощи ножекъ-винтовъ устанавливаютъ вѣсы по отвѣсу или уровню; если при вѣсахъ нѣтъ соотвѣствующаго приспособленія, то на основаніе вѣсовъ кладутъ круглый уровень или ливелирующъ при помощи отвѣса, который держатъ параллельно арретированной стрѣлкѣ вѣсовъ.

Затѣмъ опускаютъ арретиры, поправляютъ болѣе грубый разновѣсъ, если онъ окажется и убѣждаются, что тогда вѣсы имѣютъ устойчивое положеніе равновѣсія. Если бы равновѣсіе оказалось неустойчивымъ (вѣсы „опрокидываются“), то подвигиваютъ внизъ находящійся посредникъ недвижной грузъ до тѣхъ поръ пока этотъ недостатокъ не будетъ устраненъ.

¹⁾ То обстоятельство, что въ дѣйствительности граммъ есть масса не-много (на 1/103 и) большая чѣмъ та, о которой говорить опредѣленіе, не принимается здѣсь во вниманіе.

Чувствительность вѣсовъ регулируется ввинчивае́мъ вверху или внизъ упомянутого подвижного груза; о ней можно судить по періоду колебаній, ибо для однихъ и тѣхъ же вѣсовъ она пропорциональна второй степени этого періода. Періодъ колебанія при длинноплечныхъ вѣсахъ слѣдуетъ подобрать въ предѣлахъ 10 — 15 сек., при короткоплечныхъ въ 6 — 10 сек. Болѣе продолжительный періодъ колебанія ведетъ къ потерѣ времени, къ болѣе сильному затуханію и, по большей части, къ несправильностямъ установки: все это дѣлаетъ безполезной повышенную чувствительность.

Заѣ́мъ съ помощью существующаго для этой цѣли приспособленія (передвижной дуги на концѣ коромысла; отверстие, просверленное въ вертикальномъ переднемъ грузѣ; вращающаяся рукоятка и т. п.) достигаютъ того, что нагруженные вѣсы при качаніяхъ отклоняются одинаково въ обѣ стороны отъ средняго дѣленія. Неравенство въ нѣсколько десятыхъ долей дѣленія шкалы, которое съ теченіемъ времени можетъ опять появиться, слѣдуетъ исправить установочными винтами, изъ коихъ одинъ укорачиваютъ, другой на столько же удлиняютъ.

Испытаніе вѣсовъ. Прежде всего слѣдуетъ требовать, чтобы вѣсы, при многократномъ арретированіи и освобожденіи давали одну и ту же установку и чтобы колебанія лишь медленно уменьшались. Ошибки могутъ происходить отъ того, что ослабнѣла какой-нибудь винтъ на коромыслѣ, или же отъ того, что призма или цѣпка нечисты, повреждены или имѣютъ неподходящую форму.

Равноотнесеніе, испытывающія помѣщая на обѣ чашки достаточно большаго разновѣса, удовлетворяющія другъ друга: взаимное ихъ перемѣщеніе не должно имѣть установли. Обѣ измѣреній неравноплечности см. 12.

Рейтеръ, помѣщенный на нулевомъ дѣленіи, не долженъ оказывать никакого дѣйствія.

Нелишне попробовать, положить ли грузъ одно и тоже дѣйствие зависимо отъ того, на какое мѣсто чашки онъ помѣщенъ. Въ настольныхъ вѣсахъ (съ платформой) и въ почтовыхъ вѣсахъ могутъ происходить съ этой причиной большія погрѣбности; менѣе значительныя бывають и у обыкновенныхъ вѣсовъ, именно въ томъ случаѣ, если чашка виситъ на ребрѣ призмы безъ промежуточныхъ прищипокъ: такой способъ привѣса чашки исправленъ.

Шероховатости хода приспособленія, перемѣщающаго рейтеръ, а также арретира, исправляютъ, перетирая соответствующія части тряпочкой, смоченной слегка, если нужно, керосиномъ.

Удобно, чтобы разстояніе между дѣленіями шкалы при стрѣлкѣ равнялось примѣрно миллиметру. Для устраненія параллакса при отсчетѣ остріе стрѣлки должно двигаться возможно ближе къ дѣленіямъ, прямо передъ ними или, лучше, надъ ними.

Употребленіе вѣсовъ. Столъ, на которомъ стоятъ вѣсы, долженъ быть предохраненъ отъ сотрясеній, исходящихъ отъ пола, а также отъ возможнаго прогиба при надавливании руками; кромѣ того, вѣсы слѣдуетъ охранишь отъ неравномѣрнаго нагреванія. Накладывать разновѣски слѣдуетъ только при арретированныхъ вѣсахъ. Колебанія чашекъ изъ стороны въ сторону во время взвѣшиванія могутъ повести къ ошибкамъ.

При отвѣственныхъ взвѣшиваніяхъ слѣдуетъ избѣгать воздушныхъ теченій, могущихъ произойти, на примѣръ, даже отъ незначительнаго нагрева взвѣшиваемаго тѣла. Футляръ вѣсовъ, разумеется, долженъ быть закрытъ.

Взвѣшиваемое тѣло кладутъ обыкновенно надѣво; если же требуется отвѣсить определенное количество нѣкотораго вещества, на примѣръ, жидкости или соли, то правая чашка по большей части оказывается удобнѣе.

II. Способъ взвѣшиванія

Для достиженія большей точности лучше наблюдать вѣсы въ колеблющемся состояніи, чѣмъ въ покоѣ. Разновѣски, уравнивающія тѣло, находятъ постепеннымъ сближеніемъ предѣловъ (между которыми находится измѣряемый вѣсъ); если при этомъ пользоваться достаточно мелкими разновѣсками или рейтеромъ, то возможно добиться, чтобы качанія въ обѣ стороны отъ нулевой точки были одинаковыми.

Способъ интерполированія. Частому исправленію измѣняющейся со временемъ нулевой точки и кропотливому отыскиванію полнаго равенства часто слѣдуетъ предпочесть наблюденіе временно существующей нулевой точки и интерполяцію уравнивающаго груза изъ двухъ установокъ при различныхъ нагрузкахъ.

Опредѣленіе нулевой точки, т. е. той точки шкалы, на которую указывала бы стрѣлка ненагруженныхъ вѣсовъ въ состояніи

покоя. Нулевую точку находятъ изъ нѣсколькихъ точекъ поворота качающейся стрѣлки. Размахъ колебаній можетъ заключаться въ предѣлахъ отъ 2 до 5 мм. Для достиженія умѣренной точности берутъ среднее изъ двухъ точекъ поворота или, при болѣе значительномъ затуханіи, изъ трехъ, причемъ сначала берутъ среднее изъ №г. 1 и 3, а затѣмъ среднее изъ полученнаго числа и №г. 2.

Когда требуется большая точность, замѣчаютъ, согласно съ нижеслѣдующей схемой, хотя бы пять точекъ поворота, берутъ среднее арифметическое изъ наблюдений по одну сторону, т. е. изъ №г. 1, 3, 5, и изъ наблюдений по другую сторону, т. е. изъ №г. 2 и 4, и изъ полученныхъ чиселъ снова берутъ среднее. Чтобы избѣжать необходимости различать отклоненія вправо и влево, вѣдь дѣло идетъ здѣсь только о разностяхъ установки, удобнѣе всего обозначить среднюю черту шкалы вѣсовъ не нулемъ, а числомъ 10.

Примѣръ.	Точки поворота			Среднее	Нулевая точка
влево	10·9	10·7	10·6	10·73	9·74
вправо	8·7	8·8		8·75	

Чтобы изъять среднее изъ двухъ или трехъ мало различающихся чиселъ, нѣтъ надобности сначала все складывать и затѣмъ сумму дѣлить на 2 или на 3. Что среднее между 10·9, 10·7, 10·6 начинается на 10 само собою понятно. А что 9, 7, 6 даютъ среднее 73, тоже видно сразу. Нахождение средняго при нѣкоторомъ упражненіи столь же просто, какъ сложение и вычитаніе, и не подвержено никакимъ болѣе грубымъ ошибкамъ преимуществу, на которое слѣдуетъ обратить вниманіе.

Вмѣсто этого можно среднее дѣленіе принять за нуль и отклоненія считать въ одну сторону положительными, въ другую отрицательными, т. е. въ предыдущемъ примѣрѣ писать: + 0·9, - 1·3, + 0·7 и т. д. Начинаящій однако легче избѣгаетъ ошибокъ, пользуясь способомъ, указаннымъ выше.

Смотрѣть, не измѣнилась ли нулевая точка, слѣдуетъ почаще, а при болѣе значительныхъ нагрузкахъ вѣсовъ надо опредѣлять ее заново. Если окажутся измѣненія, то берутъ среднее изъ опредѣленій, предшествовавшихъ и слѣдовавшихъ за взвѣшиваніемъ.

Взвѣшиваніе. Послѣ того, какъ будетъ положено такое количество разновѣсокъ (или рейтеръ установленъ, наконецъ, на такое цѣлое дѣленіе шкалы), что установка близка къ нулевой точкѣ, снова дѣлаютъ по вышеуказанной схемѣ рядъ наблюдений точекъ поворота. Среднее будетъ уклоняться отъ нулевой точки на нѣкоторое число и дѣлений шкалы. Если извѣстна чувствительность

11. Чувствительность вѣсовъ

Чувствительностью (ϵ) вѣсовъ мы называемъ измѣненіе установки при перегрузкѣ чаши вѣсовъ на 1 мг. Опредѣленіе ея при различныхъ нагрузкахъ важно для сужденія о качествѣ вѣсовъ, а затѣмъ и для упрощенія способа взвѣшивания. Именно, если мы имѣемъ таблицу или кривую, дающую отклоненіе подѣлѣннѣмъ 1 мг., какъ функцію нагрузки, то для каждаго взвѣшивания, кромѣ нахожденія нулевой точки, достаточно будетъ одного лишь опредѣленія установки при приблизительно подходящемъ вѣсѣ (см. пред. стр.).

Пріемъ ясенъ самъ собою. На обѣ чаши кладутъ нагрузку, для которой хотятъ опредѣлить чувствительность, и на одну изъ чашекъ маленькій перевѣсъ, такъ чтобы установка на нѣсколько (2—3) дѣлений шкалы уклонялась отъ средней черты. Эта установка e тщательно наблюдается, согласно 10 II. Затѣмъ, перегрузивъ другую чашку п миллиграммами, вызываютъ приблизительно такое же отклоненіе въ другую сторону и наблюдаютъ установку e' ; тогда чувствительность $C = (e - e')/п$.

Опредѣливъ (ϵ), примѣрно, для 0, 10, 20, , наносить на координатную бумагу нагрузку, какъ абсциссу, чувствительность, какъ ординату; послѣ этого можно изъ кривой брать (ϵ) для любой нагрузки или на основаніи кривой составить таблицу (8). Время отъ времени необходимо опредѣлять чувствительность заново.

Зависимость C отъ нагрузки опредѣляется взаимнымъ положеніемъ ребра средней призмы и обоихъ крайнихъ, а слѣдовательно и прогибомъ коромысла подѣлѣннѣмъ нагрузки.

12. Отношеніе плечъ коромысла

По закону рычага результатъ взвѣшивания во столько разъ превосходитъ вѣсъ тѣла, во сколько разъ плечо на сторонѣ тѣла больше, чѣмъ на сторонѣ разновѣсокъ. Ошибка эта не играетъ большой роли по двумъ причинамъ. Во-первыхъ, при хорошихъ вѣсахъ она рѣдко достигаетъ 1—10000. Во-вторыхъ, во большей части, важны лишь отношенія вѣсовъ, напрѣмръ, при всѣхъ вѣсовыхъ анализахъ, при опредѣленіяхъ плотности, удѣльныхъ теплотъ и т. д.; здѣсь ошибка совершенно отпадаетъ, если только пользоваться всегда однимъ и тѣмъ же плечомъ коромысла. Однако при тонкихъ абсолютныхъ взвѣживаніяхъ нельзя полагаться на равноплечность.

Плечи рычага обратно пропорциональны тѣмъ грузамъ, которые при одновременномъ помѣщеніи на чашкахъ вѣсовъ устанавливаютъ вѣсы на нулевую точку (10). Если наборъ разновѣсокъ вѣ-

рень, и грузъ p , на правомъ плечѣ R уравниваетъ грузъ p_1 на лѣвомъ плечѣ L , то отношеніе плечъ

$$\frac{R}{L} = \frac{p_t}{p_r}$$

Независимо от предположения совершенной вѣрности набора раз-
новѣсовь определяют это отношение слѣдующимъ образомъ.

Наблюдают нулевую точку, кладут загрузку на обе чашки равновесно одинакового наименования, равная примерно половине предельной допустимой для весов нагрузки, определяют привесок, который необходимо положить на левую или правую, чтобы привести установку к нулевой точке. Для точных измерений следует применять при этом интерполяционный способ (10 II). Нулевую точку рекомендуется проверять достаточно часто, пользуясь ее средним значением до и после взвешивания. Загрузки взаимно перемещают разноразно и поступают попрежнему. Если обозначим оба груза, имеющие номинальное значение p , через p_1 и p_2 , и положим, что равновесие было достигнуто, когда

при первом взятии	слева $p_1 + l$	справа p_2
" вторым "	" p_2	" $p_1 + r$

10, обозначив длину левого плеча через L , правого через R , получим

$$\frac{L}{R} = 1 + \frac{I - I_0}{2I_0}$$

Малый прибавок на одну сторону можно при этом рассматривать, как отрицательный прибавок на другую; см. примѣры.

Доказательство. По закону рычага $L(p_1 - l) = R p_2$ и $L p_2 = R(p_1 + r)$, откуда (согласно стр. 27, равенства 8 и 3)

$$\frac{R}{L} = \sqrt{\frac{p_1}{p_1 + r}} = \sqrt{\frac{1}{1 + r' p_1}} = \frac{1}{\sqrt{2p_1}}$$

здесь окончательно написано p вместо p_1 .

Примѣръ.

слѣва

справа

$$\begin{array}{rcll} (50) & (20) & (10) & 0,83 \text{ и, следовательно } I = 0,83 \\ (20 + 10 + \dots) & (50) & & + 2,56 \quad \quad \quad r = + 2,56 \end{array}$$

$$R = 1 - 0.83 - 2.56 = 1 - 0.0000339$$

* или же $\frac{L}{R} = 1.0000339$.

Цифры, заключенныя въ скобкахъ, обозначаютъ номинальный вѣсъ гирь въ граммахъ. Предыдущее измѣреніе приводитъ насъ также къ заключенію (13), что

$$(50) - (20 + 10 + \dots) = 0.86 \text{ мг.}$$

Двойное взвѣшиваніе тѣла съ опредѣленіемъ нулевой точки также даетъ отношеніе плечъ; см. 13, 1.

Съ измѣненіемъ нагрузки отношеніе плечъ можетъ нѣсколько измѣниться.

13. Абсолютное взвѣшиваніе тѣла

I. Исключеніе неравноплечности

Пока требуется только сравнивать между собою массы, достаточно, какъ уже было сказано выше, производить взвѣшиванія на одномъ и томъ же плечѣ однихъ и тѣхъ же вѣсовъ. Абсолютный же вѣсъ необходимо опредѣлять въ тѣхъ случаяхъ, когда, напримѣръ, при калиброваніи сосудовъ, при химическихъ титрованіяхъ, при приготовленіи растворовъ, требуется относить массы къ объемамъ или же, при вольтаметрическихъ измѣреніяхъ, къ силамъ электрическаго тока и т. д.

Чтобы вывести абсолютный вѣсъ изъ кажущагося, найденнаго при взвѣшиваніи, послѣдній умножаютъ на отношеніе плечъ коромысла, взявъ числителемъ длину того плеча, на которое дѣйствовали разновѣски. Не прибѣгая къ этому отношенію, которое при особенно точныхъ взвѣшиваніяхъ даже нельзя считать неизмѣннымъ, можно достичь той же цѣли слѣдующими приемами.

1. Двойное взвѣшиваніе. Сначала взвѣшиваютъ тѣло на лѣвой чашкѣ, затѣмъ на правой. Если p_1 и p_2 обозначаютъ для того и другого случая разновѣски, уравновѣшивающія тѣло, то искомый вѣсъ тѣла p представить собою среднее арифметическое

$$p = \frac{1}{2} (p_1 + p_2).$$

Опредѣлять нулевую точку вѣсовъ не нужно.

Доказательство см. 6 примѣръ 1. Если p_1 и p_2 отнесены къ дѣйствительной нулевой точкѣ вѣсовъ, то одновременно получается отношеніе плечъ

$$\frac{R}{L} = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} = \sqrt{1 + \frac{p_2 - p_1}{p_1}} = 1 + \frac{p_2 - p_1}{2p_1}$$

2. Способъ гарированія. Тѣло, положенное на чашку вѣсовъ, уравновѣшиваютъ, помѣщая на другую чашку какую-нибудь

нагрузку, — удобнѣе всего разновѣски другого набора, который не долженъ непременно быть точнымъ; затѣмъ тѣло снимаютъ и замѣняютъ разновѣсками до прежней установки вѣсовъ. Разновѣски даютъ вѣсъ тѣла.

II. Приведеніе вѣса къ пустотѣ

Цѣль взвѣшиванія по большей части есть опредѣленіе массы тѣла, т. е. сравненіе ея съ извѣстной массой гирь, взятыхъ изъ набора разновѣсокъ. Допустимъ, что разновѣски представляютъ собою истинныя массы, т. е. что ихъ „граммы“ уравновѣсиль бы въ пустотѣ 1 см³ воды. Въ воздухѣ какъ тѣло, такъ и разновѣски претерпѣваютъ потерю вѣса, равную вѣсу вытѣсненнаго воздуха.

Если назовемъ

m кажущійся вѣсъ тѣла въ воздухѣ, т. е. разновѣски, уравновѣшивающія его въ воздухѣ,

λ плотность воздуха ($\lambda = 0.00120$ въ среднемъ. См. также 18 и таблицу 6),

σ плотность (удѣльный вѣсъ) тѣла,

σ плотность разновѣсокъ (латунь — 8.4),

то вѣсъ тѣла въ пустотѣ

$$M = m \left(1 + \frac{\lambda}{\sigma} - \frac{\lambda}{\sigma} \right).$$

Доказательство. Тѣло имѣетъ объемъ $V = \frac{M}{\sigma}$, разновѣски $v = \frac{m}{\sigma}$.

Потери въ вѣсѣ равна вѣсу вытѣсненнаго воздуха, следовательно извѣстнае тѣло терять $\lambda V = \lambda M / \sigma$, разновѣски $\lambda v = \lambda m / \sigma$. Такъ какъ вѣса, испытанные эти потери оказались равными, то $M \left(1 - \frac{\lambda}{\sigma} \right) = m \left(1 - \frac{\lambda}{\sigma} \right)$, откуда вышеприведенное значеніе M получается согласно формулѣ 8, стр. 27.

Итакъ, къ найденному кажущемуся вѣсу m слѣдуетъ придать $m \lambda \left(\frac{1}{\sigma} - \frac{1}{\sigma} \right)$: поправка, возрастающая съ увеличеніемъ неравенства λ и σ . Для λ почти всегда достаточно брать среднее 0.0012. Въ случаѣ латунныхъ разновѣсокъ можно при этомъ брать поправки изъ таблицы 1, гдѣ онѣ вычислены для различныхъ удѣльныхъ вѣсовъ σ на основаніи формулы.

Примѣръ. Поправка кажущагося вѣса σ нѣкотораго количества воды, при употребленіи латунныхъ разновѣсокъ $\sigma = 8.4$ составляетъ $\sigma = 0.0012 \left(1 - \frac{1}{8.4} \right) = \sigma = 0.000,06$ т. е. 100 м на каждый граммъ. Даже въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется знаніе не абсолютнаго вѣса,

а только вѣсовыхъ отношеній какъ при химическихъ анализахъ, иногда потеря въ вѣсъ требуетъ столь значительныхъ поправокъ, что пренебреженіемъ можетъ повести къ ошибкамъ, превышающимъ 0.1%. Однако потеря въ вѣсъ разновѣсокъ слѣдуетъ и здѣсь пренебрегать.

14. Таблица поправокъ для набора разновѣсокъ

Не правильность наборъ разновѣсокъ нельзя полагаться уже потому, что разновѣски измѣняются отъ употребленія.

Вообще задача опредѣленія ошибокъ набора разновѣсокъ сводится къ тому, что производить столько извѣщиваній, сколько разновѣсокъ подлежатъ проверкѣ и составлять по этимъ даннымъ столько же уравненій, изъ этихъ уравненій выводятся отношенія плечъ коромысла и отношенія разновѣсокъ другъ къ другу.

При наборѣ разновѣсокъ обычнаго типа поступаютъ согласно нижеслѣдующей схемѣ. Обозначимъ болышія разновѣски такъ:

$$50' \quad 20' \quad 10' \quad 5' \quad 2' \quad 1' \quad 1''.$$

Производимъ двойное извѣщиваніе, положивъ 50 на одну чашку, а сумму остальныхъ разновѣсокъ на другую. Пусть вѣсы оказались въ равновѣсїи (т. е. стрѣлка ихъ установилась такъ же, какъ и при пустыхъ вѣсахъ), когда было

$$\begin{array}{cc} \text{слѣва} & \text{справа} \\ 50' & 20' + 10' + \dots + r \text{ мг} \\ 20' + 10' + \dots + l \text{ мг} & 50'. \end{array}$$

Въ такомъ случаѣ отношеніе плечъ (12)

$$R/L = 1 + (l - r) / 100000$$

и

$$50' = 20' + 10' + \dots + \frac{1}{2}(r + l).$$

Затѣмъ сравниваютъ 20 съ $10' + 10'$, а 10 съ $10''$ и съ $5 + 2' + \dots$. Двойное извѣщиваніе оказывается и въ этихъ случаяхъ болѣе надежнымъ, ибо отношеніе плечъ, вообще говоря, нѣсколько зависитъ отъ нагрузки. Имѣя же дѣло съ хорошими вѣсами, можно найденное выше значеніе считать справедливымъ вообще и производить только одностороннее сравненіе. Тогда разновѣска μ , положенная на правую чашку, приведенная къ длинѣ лѣваго плеча, будетъ значить $\mu \cdot R/L$.

Примѣръ. Пусть $r = -0.63$, $l = +2.73$ мг, тогда

$$50' = 20' + 10' + \dots + 1.05 \text{ мг} \quad \text{и} \quad R/L = 1.000034.$$

Далѣе, пусть при сравненіи 5-разновѣски съ суммой маленькихъ разновѣсокъ найдено что вѣсы устанавливаются, когда

$$\text{слѣва } 5' + 0.06 \text{ мг} \quad \text{справа } 2' + 1' + 1'' + 1''';$$

въ такомъ случаѣ на равноплечихъ вѣсахъ были бы въ равновѣсіи $5 + 0.06 \text{ мг}$ и $(2' + 1' + \dots) \times 1.000034$ или $2' + 1' + \dots + 0.17 \text{ мг}$.

Слѣдовательно,

$$5 - 2' + 1' + 1'' + 1''' = 0.11 \text{ мг.}$$

Пусть всѣ эти взвѣшиванія привели къ слѣдующему результату (примѣрные числа миллиграммовъ соответствуютъ найденнымъ разницамъ А, В и т. д.):

$$\begin{array}{rcll} 50' & = & 20' + 10' + \dots + A & + 0.48 \text{ мг} \\ 20' & = & 10' + 10'' & + B \quad + .06 \text{ „} \\ 10'' & = & 10' & + C \quad + .17 \text{ „} \\ 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' & = & 10' & + D. \quad + .29 \text{ „} \end{array}$$

Здѣсь А, В, С, D, конечно, могутъ быть положительны или отрицательны. Изъ этихъ уравненій нужно выразить въ какой-нибудь единицѣ значение пяти разновѣсокъ, принимая пока сумму малыхъ разновѣсокъ за одну гирю. Если одновременно не производить сравненія съ нормальной гирей, то эту единицу выбираютъ такъ, чтобы поправки отдѣльныхъ разновѣсокъ были возможно малыми, а это будетъ въ томъ случаѣ, если допустить, что вся сумма вѣрна, т. е. положить

$$50' + 20' + 10' + \dots = 100 \text{ г.}$$

Обозначивъ теперь для краткости

$$S = \frac{1}{10} (A + 2B + 4C + 2D), \quad + 0.070 \text{ мг}$$

найдемъ слѣдующія равенства, справедливость которыхъ легко доказать:

$$\begin{array}{rcll} 10' & = & 10 \text{ „} & + S \\ 10'' & = & 10 \text{ „} - S + C & + .10 \text{ „} \\ 5' + \dots & = & 10 \text{ „} - S + D & - .36 \text{ „} \\ 20' & = & 20 \text{ „} - 2S + B + C & + .09 \text{ „} \\ 50' & = & 50 \text{ „} - 5S + A + B + 2C + D & = 50 \text{ „} + \frac{1}{2}A & + .24 \text{ „} \end{array}$$

Проверка вычисленій основывается на томъ, что сумма всѣхъ поправокъ, выраженныхъ численно, должна равняться нулю, и что должны удовлетворяться четыре равенства, найденныя изъ наблюдения.

Далѣе, пусть при сравненіи разновѣсокъ 5', 2', 1', 1' и 1'' между собою найдено

$$\begin{array}{rcl} 5' & = 2' + 1' + 1'' + 1''' + a & + 0.54 \text{ мг} \\ 2' & = 1' + 1'' & + b & + .02 \text{ „} \\ 1 & = 1' & + c & - .10 \text{ „} \\ 1 & = 1 & + d. & - .13 \text{ „} \end{array}$$

Положивъ теперь для краткости

$$s = \frac{1}{10} (a + 2b + 4c + 2d + 5D), \quad (0.028 \text{ мг})$$

получимъ подобно тому, какъ выше,

$$\begin{array}{rcl} 1' & = 1 \text{ „} - s & - 0.03 \text{ мг} \\ 1'' & = 1 \text{ „} - s + c & - .13 \text{ „} \\ 1''' & = 1 \text{ „} - s + d & - .16 \text{ „} \\ 2' & = 2 \text{ „} - 2s + b + c & - .14 \text{ „} \\ 5' & = 5 \text{ „} - 5s + a + b + 2c + d. & + .09 \text{ „} \end{array}$$

Точно такъ же поступаютъ и съ меньшими разновѣсками.

Слѣдую правилу — всегда составлять

вѣса

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 и т. д.,

изъ разновѣсокъ

1' 2' 2' 1' 2' + 1' 1' 5' 5' + 1' 5' + 2' 5' + 2' 1' 5' + 2' + 1' 1' 10 и т. д.

— можно тотчасъ же для каждой цифры каждого десятка найти соответствующую поправку такъ, въ предыдущемъ примѣрѣ поправки, въ сотыхъ доляхъ мг, будутъ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десятки	7	- 4	+ 2	+ 12	+ 24	+ 17	+ 33	+ 26	+ 36
единицы	3	14	17	- 30	+ 9	+ 6	5	- 8	21

и т. д. для сотенъ, тысячъ граммовъ.

До сихъ поръ мы принимали, что сумма вѣсъ большихъ разновѣсокъ вѣрна: для большинства работъ (химическій анализъ, удѣльный вѣсъ), требующихъ лишь относительныхъ взвѣшиваній, этого допущенія достаточно. Если же требуется привести таблицу поправокъ къ точному граммовому разновѣсу, то необходимо сравнить разновѣски, или одну изъ нихъ, съ нормальнымъ разновѣсомъ (13) Способъ расчета подобенъ вышеуказанному.

Легко составить планъ проверки набора разновѣсокъ иного сочетанія.

Для отличія разновѣсокъ одного и того же наименованія цифры должны быть выбиты на нихъ различно или снабжены индексомъ, иначе приходится отыскивать случайныя отличія. При пластинчатыхъ разновѣскахъ помогаютъ дѣлу тѣмъ, что загибаютъ неодинаковые углы. Относительно самаго извѣщиванія см. 10, наблюдение нулевой точки слѣдуетъ повторять почаще.

15. Плотность; удельный вѣсъ. Способы опредѣленія

Плотностью или удельной массой γ тѣла (см. таблицы 2 и 3) называютъ массу (m), заключенную въ единицу объема (см^3) тѣла, другими словами, массу тѣла дѣлящую на объемъ. Водѣ при 4° имѣетъ слѣдовательно, плотность единицу, ибо въ $1 \text{ г} / \text{см}^3$ содержится 1 г. Число γ можетъ быть также поэтому представлено какъ отношеніе массы тѣла къ массѣ такого же объема воды при 4° вмѣсто означенія массы можно говорить также объ отношеніи вѣсовъ въ пустомъ пространствѣ.

Выраженіе „удельный вѣсъ“ означаетъ вѣсъ тѣла, заключающійся въ единицу объема т. е. то же число, что и плотность, еси единицей вѣса служить граммъ-вѣсъ. Когда послѣднее обстоятельство разумѣется само собою, то между этими двумя выраженіями совершенно не дѣлаютъ различія.

При точномъ указаніи плотности необходимо вслѣдствіе тепловаго расширенія, указывать ту температуру t тѣла, къ которой плотность относится, пропе всего слѣдуетъ это съ помощью обозначенія γ_t .

Въ болѣе старыхъ данныхъ часто бываетъ положена въ основу и принята за единицу вода не при 4° , а при нѣкоторой другой температурѣ Θ (например при 15° или 18°). Обозначая через t температуру тѣла, изображають въ этомъ случаѣ плотность символомъ $\gamma_{t,\Theta}$. Особенно часто приходится встрѣчать, что водные растворы отнесены къ водѣ при той же температурѣ, какъ и растворъ. Символь $\gamma_{t,\Theta}$ обозначаетъ въ этомъ случаѣ, слѣдовательно, что и растворъ и вода взяты при 18° — Опредѣленіе „масса или вѣсъ въ единицу объема“ оканчивается здѣсь, строго говоря, не вполне подходящимъ.

Чтобы удѣльный вѣсъ γ , „отнесенный къ водѣ при температурѣ Θ “, привести къ водѣ при 4° , надо умножить γ на плотность Q воды при температурѣ Θ (таблица 4; $Q < 1$). Ср. также -16.

Удѣльнымъ объемомъ называютъ величину, обратную плотности, т. е. объемъ единицы массы вещества. Молекулярнымъ объемомъ называется произведеніе изъ молекулярнаго вѣса на плотность это есть, слѣдовательно, выраженный въ кубическихъ сантиметрахъ, объемъ граммъ-молекулы („Mol“), т. е. объемъ массы тѣла, содержащей число граммовъ, равное молекулярному вѣсу тѣла. Аналогичное значеніе имѣють „эквивалентный“ и „атомный“ объемы.

Первоначально мы опишемъ способы опредѣленія и дадимъ правила для вычисленія такъ, какъ будто извѣщиванія производятся въ пустотѣ, и вода берется при 4° , о необходимыхъ поправкахъ см. 16.

А. Для жидкостей

1. Калиброванный сосудъ (мѣрительная колба, пипетка, мензурка, бюретка). Ср. 23

Если масса равна m граммамъ, объемъ v кубическимъ сантиметрамъ, то по опредѣленію плотность $\rho = m/v$.

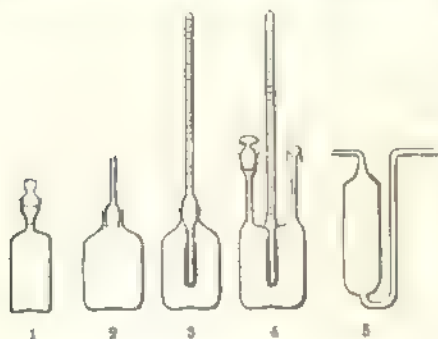
Напримѣръ, съ помощью мѣрительной колбы находить вѣсъ опредѣленнаго объема, какъ разность вѣсовъ пустой и наполненной колбы. Для приблизительныхъ опредѣленій часто можно пользоваться и пипеткой. Если вытекающее количество не вполне опредѣленно, то пипетку, на которой намѣченъ ся объемъ въ сухомъ видѣ, первоначально взвѣшиваютъ сухою вмѣстѣ съ колбочкой, а затѣмъ наполняютъ пипетку и содержащее ея, выпущенное въ колбочку, снова взвѣшиваютъ вмѣстѣ съ колбочкой и пипеткой.

При употребленіи раздѣленнаго цилиндра (бюретки и т. п.) по большей части опредѣляютъ вѣсъ вылитаго или вытекшаго количества и при расчетѣ пользуются указанными на приборѣ объемами.

2. Пикнометръ

Отвѣшивая, являясь вѣсъ пустого сосуда, количество жидкости m и количество воды n , вмѣщающаго въ одномъ и томъ же сосудѣ. Тогда $\rho = m/n$. Обыкновенная колбочка, наполненная до краевъ или до черты на горлышкѣ, легко дать третій десятичный

знакъ. Болѣе точные результаты даютъ постоянные сосуды, называемые пикнометрами, тарирными склянками (рис.). Наполняются они со вѣсомъ или до извѣстной мѣтки; наиболѣе точны четвертая и пятая формы, у которыхъ одно отверстіе служитъ для впусканія жидкости, другое для выпусканія или отсасыванія воздуха. №1 на-



полняютъ посредствомъ длинной тонкой воронки, опоражниваютъ

такого же рода пипеткой, или же выливаютъ жидкость, вводя стеклянную трубочку для впуска воздуха.

Если располагаютъ лишь нѣсколькими каплями жидкости, то приходится принимать совсѣмъ маленькія котбочки, употребляемая при опредѣленіи плотности паровъ (19 В) № 5 (Шпренгель-Оствальдъ) привѣшивается къ вѣсамъ на проволоку. Знание температуры достигается здѣсь и, въ случаѣ надобности, при употребленіи № 1, съ помощью ванны съ постоянной температурой, гдѣ пикнометръ долженъ однако находиться достаточно долго. О наполненіи и опредѣленіи температуры № 2 см. В 2.

Предварительное споласкиваніе сосуда новой жидкостью оказывается по большей части удобнѣе, чѣмъ высушиваніе сосуда передъ наливаніемъ новой жидкости.

3. Способъ гидростатическаго взвѣшиванія

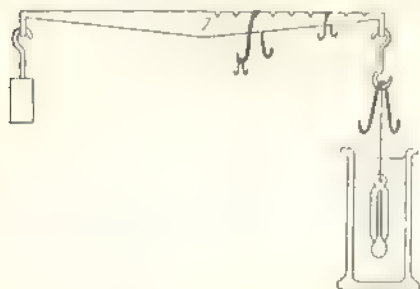
Одно и то же тѣло (стеклянное грузило), привѣшенное къ вѣсамъ на нитку или проволоку, взвѣшиваютъ въ воздухѣ (p_a), въ жидкости (p_f) и въ водѣ (p_w). Если потеря въ вѣсѣ составляетъ въ жидкости m p_f p_a , въ водѣ w p_f p_w , то опять $w = m \cdot \rho$. Ибо если v означаетъ объемъ груза, то по закону Архимеда потеря въ вѣсѣ равна каждый разъ вѣсу вытѣсненной жидкости, т. е. $m = v \cdot \rho$ и $w = v \cdot 1$. Поправки указаны въ 16.



Для подвѣшиванія служитъ либо укороченная чашка вѣсовъ съ крючкомъ, либо (рис.) крючокъ въ дугѣ чашки вѣсовъ; въ последнемъ случаѣ жидкость помещается на столики надъ чашкой вѣсовъ. Ушко груза должно быть погружено цѣликомъ. Источникомъ ошибки по большей части является треніе на поверхности, а также неравномѣрное смачиваніе подвѣшивающей нити, могущее значительно колебаться при употребленіи металлическихъ проволокъ, въ особенности въ случаѣ воды; платиновая проволока, платинированная и затѣмъ прокаленная, уменьшаетъ ошибку. Удобно употреблять въ качествѣ груза короткій голый термометръ. Вычисленіе облегчается, если гидростатическое выталкиваніе тѣла w для воды при 4° представляется круглымъ числомъ, напримѣръ, 10 г или 30 г.

Слѣдуетъ смотрѣть, чтобы въ ушкѣ, служащемъ для подвѣшивания грузила, не застрялъ пузырекъ воздуха!

Вѣсы Мора. Стеклоанное грузило подвѣшивается на тонкой проволоки къ раздѣленному на 10 частей плечу коромысла вѣсовъ и уравнивается. Въ водѣ грузило теряетъ столько, сколько



вѣсить наибольший рейтеръ; остальные рейтеры соответственно въ 10, 100 и 1000 разъ легче. Дѣленія коромысла, на которыя должны быть помѣщены рейтеры, чтобы компенсировать потерю въ вѣсѣ погруженнаго въ жидкость (цѣликомъ) грузила, непосредственно даютъ

отдѣльные десятичные знаки удѣльнаго вѣса: на примѣръ, на рисункѣ 1-373.

Испытаніе вѣсовъ Мора. 1) Вѣса рейтеровъ должны относиться между собою, какъ 1, 10 и т. д.; 2) дѣленія коромысла должны дѣлить горизонтальное разстояніе между ребрами средней и крайней призмы на 10 равныхъ частей. Чтобы испытать это, подвѣшиваютъ къ другому плечу коромысла маленькую уравновѣшенную чашку, помѣщаютъ наибольший рейтеръ на дѣленія 1, 2 и т. д. и смотря, относятся ли между собою соответствующе грузы, положенные на чашку, какъ 1, 2 и т. д.; 3) вѣсамъ должны давать для воды при температурѣ t ту плотность, какая указана въ таблицѣ 4. Если вѣсамъ даютъ Q' вмѣсто Q , то всѣ ихъ показанія слѣдуетъ умножать на Q/Q' . Хорошіе Моровскіе вѣсы, при употребленіи тонкой платиновой проволоки (см. выше) могутъ давать до нѣкоторой степени правильно даже 4-й десятичный знакъ.

4. Ареометры съ нагрузкой; методъ плаванія

Пусть плавающее тѣло вѣсить P граммовъ и для того, чтобы плавать, погрузившись до опредѣленнаго объема, требуетъ нагрузки p граммовъ въ водѣ и p' граммовъ въ какой-нибудь другой жидкости. Тогда послѣдняя, очевидно, имѣетъ удѣльный вѣсъ $\frac{P + p'}{P + p}$. Приборъ, носившій прежде названіе „Никольсоновскихъ погружающихся вѣ-

совъ", заставляють каждый разъ погружаться до одной и той же мѣтки на шейкѣ.

Различіе, существующее здѣсь вслѣдствіе капиллярности, избѣгается при употребленіи поплавковъ, которые заставляютъ, посредствомъ наложенія грузовъ, плавать совершенно подъ поверхностью жидкости. Отъ этихъ грузовъ (удѣльный вѣсъ — σ) слѣдуетъ при вычисленіи отнимать ихъ гидростатическую потерю p σ въ водѣ, или $p' \sigma$ въ другой жидкости, принимая для p приближенное значеніе.

5. Ареометръ со шкалой, погружающіеся вѣсы

Плывающее тѣло погружается въ жидкость настолько, чтобы вѣсъ вытѣсненной жидкости какъ разъ равнялся вѣсу тѣла. Слѣдовательно, чѣмъ плотнѣе жидкость, тѣмъ менѣе глубоко тѣло въ нее погружается. Центр тяжести ареометра долженъ лежать настолько низко, чтобы стержень при плаваніи оставался вертикальнымъ.

Дѣленіе, до котораго стержень погружается, даетъ или плотность, или величину, ей обратную — удѣльный объемъ, или крѣпость опредѣленнаго раствора, или, наконецъ, такъ называемые „градусы плотности“.

Напримѣръ, у Боме обозначаютъ 0° 13° 21° 34° 42° 49° и т. д.
удѣльный вѣсъ 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5

Отсчетъ ареометра производится по поверхности жидкости сквозь самую жидкость, при этомъ глазъ располагають такъ, что плоскость, касательная къ поверхности жидкости, кажется линіей. Ареометръ въ водѣ при температурѣ t долженъ показывать число, которое въ таблицѣ 4 соответствуетъ t . Другія точки шкалы проверяють съ помощью жидкостей, удѣльный вѣсъ которыхъ извѣстенъ изъ другихъ опредѣленій.

6. Гидрометръ

Высоты двухъ столбовъ жидкостей, уравновѣшивающихся въ сообщающихся трубкахъ, обратно пропорциональны плотностямъ.

Выводъ содержанія раствора изъ его удѣльнаго вѣса

Для этого обращаются къ таблицѣ для водныхъ растворовъ, напримѣръ, таблицѣ 3 или особые сборники таблицъ, предварительно слѣдуетъ привести удѣльный вѣсъ къ той температурѣ, для которой справедлива таблица (см. таблицу 12). Таблица можетъ быть отнесена къ водѣ не при 1, а при 4°; это обстоятельство также слѣдуетъ принять во вниманіе см. объ этомъ стр. 45 и 44 III.

В. Для твердыхъ тѣлъ

Приставивше къ тѣламъ пузырьки воздуха слѣдуетъ удалять болѣе крупныя повторнымъ выниманемъ или посредствомъ кисточки, мелкіе встряхиванемъ или кипяченемъ, или же при помощи воздушнаго насоса.

1. Взвѣшиваніе и измѣреніе объема

Если m граммовъ тѣла занимаютъ объемъ v кубическихъ сантиметровъ, то плотности $\gamma = m/v$. Измѣреніе объема при правильной формѣ тѣла можно произвести съ помощью измерительной линейки, ср. также 21 II. Цилиндръ (серебряный) длины l радиуса r имѣетъ объемъ $\pi r^2 l$, шаръ $\frac{4}{3} \pi r^3$ и т. д.

Въ случаѣ тѣла неправильной формы можно измѣрить тотъ объемъ, на который вытѣсняется жидкость въ калиброванномъ сосудѣ при погруженіи тѣла. Въ особенности легко примѣнимъ этотъ способъ къ маленькимъ тѣламъ. Для веществъ, растворимыхъ въ водѣ, берутъ, напримѣръ, спиртъ, керосинъ, толуолъ или насыщенный растворъ вещества. Можно также изрѣзывать объемъ, вводя тѣло въ совершенно наполненный сосудъ съ пузырьками тѣхъ жидкостей, отпущенъ и вытѣсняя въ другое при этомъ количество жидкости.

2. Пикнометръ (см. № 2 и 3 на рисункѣ стр. 46)

Пусть пикнометръ съ водою вѣситъ P , съ тѣломъ P' , между тѣмъ какъ самое тѣло вѣситъ m . Тогда вытѣсненное количество воды $v = (P' - m) / \gamma$, и $\gamma = m / v$. Въ особенности примѣнимъ этотъ способъ къ маленькимъ тѣламъ, но тогда слѣдуетъ брать и возможно маленькія склянки.

Если температура при первомъ и второмъ выполненіи различна (ср. 16), то результатъ, получившійся при наполненіи только водою (температура t) слѣдуетъ скорректировать къ другой температурѣ t' . Что касается расширенія воды, то поправка производится прибавленіемъ $\Pi = (Q - Q')$, гдѣ Q и Q' обозначаютъ плотности воды при температурахъ t и t' (таблица 4), а Π вѣсъ воды, закупающей пикнометръ (такъ какъ этотъ при вытѣсненіи поправки достаточно знать

нишь приблизительно), для поправки же на расширение стекла при-
одняють $W \cdot \beta (t - t_0)$, где β коэффициент кубического рас-
ширения стекла.

Если пикнометр не снабжен термометром, то либо берут
температуру колбы, из которой вода была налита, либо наливають
сначала лишь столько жидкости, чтобы можно было ввести малень-
кий термометр. Затем пополняют небольшой недостатком и бы-
стро вставляют пробку (№ 2, стр. 46), едва замѣтно намазан-
ную саломъ, из которой предварительно удаляют воду продува-
нием. Если толщина стѣнок пробки достаточна, то капилляр за-
полняется жидкостью, брызнувшую наружу жидкость тотчас же
стирают и въ случаѣ надобности отбирают воду до мѣтки остро-
вернутой пропускной бумагой. Последующія измѣненія температу-
ры безразличны, если только они не ведутъ къ вытеканию жидкости.
Жидкость, стѣловательно, не должна быть холоднѣе воздуха въ
комнатѣ.

3. Гидростатическій способъ

Если тѣло въ воздухѣ вѣситъ m , подвѣсивъ его въ воду p , и стало быть,
потери въ вѣсъ $n = m - p$, то плотность $\gamma = m/n$.

Измѣряете съ помощью вѣсовъ. Взвѣшивая тѣло въ воз-
духѣ (m), затѣмъ, подвѣсивъ его къ одной изъ чашекъ вѣсовъ
(стр. А3) на тонкой, свободной отъ жира нити или проволоцѣ, на-
весите его вѣсъ подвѣсивъ въ воду (p). Взвѣсивъ изъ p' отдельно опре-
деленный вѣсъ проволоки, получаютъ p . Изъ вычисляемой отсюда
потери въ вѣсъ стѣдуетъ въ случаѣ надобности вычесть потерю
въ вѣсъ проволоки, послѣднюю потерю легко можно оцѣнить, вы-
числивъ вѣсъ погруженной части проволоки изъ отношения погру-
женной части ко всей длине, раздѣливъ полученный вѣсъ на плот-
ность проволоки (таблица 2), получимъ ея потерю въ водѣ. Если про-
волочка или корзиночка, въ которую кладутъ тѣло при взвѣшивании,
ранѣе подвѣшена такъ, чтобы всегда погружаться одинаково, то
достаточно разъ на всегда тарировать ее и въ дальнѣйшемъ не при-
нимать въ расчетъ.

При взвѣшивании въ водѣ качанія вѣсовъ быстро убываютъ: по-
большей части приходится поэтому производить отчетъ вѣсовъ въ
состоянии покоя. Нить для подвѣшивания должна быть тонка и

должна пересѣкать поверхность жидкости только одинъ разъ, чтобы капиллярныя силы были по возможности меньше; ср. также А 3.



Вода должна имѣть температуру, близкую къ комнатной; въ противномъ случаѣ слѣдуетъ примѣнять особенно защищенные сосуды. Когда наблюдение производится въ закрытомъ ящикѣ вѣсовъ, то удобенъ термометръ указанной здѣсь формы.

Растворимыя въ водѣ тѣла взвѣшиваютъ въ другой жидкости, плотность которой извѣстна. На эту послѣднюю нужно помножить результатъ, вычисленный, какъ указано выше.

Тѣла съ малымъ удѣльнымъ вѣсомъ заставляютъ погружаться, связывая ихъ съ достаточно тяжелымъ тѣломъ, напримѣръ, съ металлическимъ зажимомъ, или помѣщая ихъ въ колоколь изъ проволоочной сѣтки, въ которомъ тѣло всплываетъ. Балластное тѣло при всѣхъ взвѣшиваніяхъ можетъ оставаться въ водѣ.

Сыпучія тѣла кладутъ въ чашечку, которую все время держатъ подъ водою, уравновѣсивъ тарой.

Если нельзя подвѣсить тѣло къ чашкѣ вѣсовъ, то иногда оказывается возможнымъ поставить на вѣсы сосудъ съ водою и опредѣлять его прибавъ въ вѣсѣ при погруженіи въ него тѣла, привѣшеннаго на нити къ неподвижному штативу. Эта прибавъ равна кажущейся потерѣ въ вѣсѣ тѣла въ водѣ.

Ареометръ Никольсона. Нагружаютъ верхнюю чашку шпалка, заставляя ее каждый разъ погружаться до мѣтки на шейкѣ: 1) только разновѣсками (P), 2) тѣломъ и разновѣсками (P'), 3) разновѣсками, причѣмъ тѣло лежитъ на нижней чашкѣ подъ водою (P''). Тогда $P - P'$ — это вѣсъ тѣла, $P'' - P$ — вѣсъ вытѣсненной воды и m/n опять-таки плотность тѣла. Колебанія температуры вліяютъ на точность тѣмъ болѣе, чѣмъ меньше тѣло сравнительно съ ареометромъ. Установка надежнѣе, если очищать шейку спиртомъ.

Пружинныя вѣсы Жюли. Къ спиральной проволоки привѣшены, одна надъ другой, двѣ чашечки, изъ которыхъ нижняя постоянно погружена въ сосудъ съ водою. Для избѣжанія паралакса при отсчетѣ, дѣленія нанесены на стеклянномъ зеркалѣ. Отчитывать можно и десятыя доли миллиметра. Если пользоваться наборомъ разновѣсокъ, то можно производить взвѣшиванія совершенно

такъ же, какъ съ ареометромъ, все время приводя мѣтку на нижнемъ концѣ пружины къ одному и тому же дѣленію шкалы.

Болѣе простой способъ взвѣшиванія на пружинныхъ вѣсахъ, при которомъ разновѣски не примѣняются, основанъ на принципѣ, что растяжение h почти пропорционально привѣшенному грузу p , т. е. $p = A \cdot h$. Нагрузивъ одинъ разъ извѣстнымъ вѣсомъ, можно опредѣлить коэффициентъ A . Такъ какъ при опредѣленіяхъ плотности единица вѣса не имѣетъ значенія, то здѣсь за единицу вѣса можно принять просто дѣленіе пружинныхъ вѣсовъ. Если вѣсы при наложеніи тѣла на верхнюю чашку опускаются на h , а при помѣщеніи тѣла подъ водою на нижней чашкѣ на h' , то $\gamma = h / (h - h')$.



4. Способъ, основанный на плаваніи

Удѣльный вѣсъ очень мелкихъ, даже порошкообразныхъ тѣлъ можно опредѣлить, составляя жидкую смѣсь, въ которой эти тѣла или тонутъ, или всплываютъ. Можно рекомендовать смѣси хлороформа (1·5), бромформа (2·9) или йодистаго метила (3·3) съ бензоломъ, голуоломъ или ксилоломъ (всѣ три около 0·9), или водные растворы двойной йодистой соли калия и ртути (Kaliumquecksilberjodid, растворъ Thoulet: 3·2).

Чтобы достигнуть болѣе точнаго равенства, целесообразно поправлять смѣсь, немного болѣе легкую, чѣмъ слѣдуетъ, смѣсью, немного болѣе тяжелой. Можно также для уравниванія удѣльных вѣсовъ воспользоваться измѣненіями температуры, такъ какъ жидкости расширяются сильно, а твердые тѣла слабо.

Плотность жидкости, въ которой тѣла плаваютъ, проще всего опредѣлить вѣсами Мора.

Послѣ употребленія отдѣляютъ жидкости другъ отъ друга дробной перегонкой.

16. Приведеніе найденнаго значенія плотности къ пустотѣ и водѣ при 4°

Часто требуется знать третій десятичный знакъ удѣльнаго вѣса, а при анализахъ даже и четвертый. Въ такомъ случаѣ необходимо внести поправку по первымъ изъ то обстоятельствъ, что тѣла уже въ воздухѣ испыты-

тываетъ потерю въ вѣсъ во-вторыхъ, на то, что обыкновенно работаютъ съ водою не при 4° , а при нѣкоторой иной температурѣ. Если не принять это во вниманіе то во второмъ десятичномъ знакѣ можетъ оказаться ошибка на нѣсколько единицъ.

I. Методы, указанные для жидкихъ и твердыхъ тѣлъ въ 15 А и В подъ № 1, требуютъ приведения найденныхъ вѣсовъ къ пустотѣ; см. 13 II и таблицу 1. Что касается разновѣсокъ, то на нихъ долженъ быть указанъ ихъ абсолютный вѣсъ.

II. Методы, перечисленные въ А и В подъ № 2 и 3, при которыхъ примѣняется пикнометръ или производится опредѣленіе на основаніи закона Архимеда, требуютъ лишь относительно вѣрныхъ разновѣсокъ, такъ какъ тамъ важны лишь отношенія вѣсовъ. Предполагая, что такая относительная вѣрность разновѣсокъ дѣйствительно существуетъ, вѣсъ вышеуказанныя наблюденія можно привести къ пустотѣ и къ водѣ при 4° по нижеслѣдующему общему правилу.

Обозначимъ черезъ

Q плотность воды, служившей для опыта (таблица 4),

λ плотность воздуха относительно воды (среднее значеніе $\lambda = 0.00120$ достаточно почти всегда; въ противномъ случаѣ см. 18 и таблицу 6);

m кажущійся, т. е. прямо даваемый вѣсами вѣсъ твердаго или жидкаго тѣла въ воздухѣ, или, при опредѣленіи удѣльнаго вѣса жидкости съ помощью стекляннаго груза, кажущуюся потерю въ вѣсъ погруженнаго въ жидкость тѣла,

n кажущійся вѣсъ воды въ объемъ, равномъ объему тѣла, при плотности воды Q .

Величину n можетъ, слѣдовательно, брать

1. въ случаѣ жидкостей, наблюденный вѣсъ воды въ тарирной склянкѣ или вѣсъ воды, вытѣсненной стекляннымъ грузиломъ,

2. въ случаѣ твердыхъ тѣлъ, наблюденная потеря въ вѣсъ тѣла въ водѣ при опредѣленіи съ помощью вѣсовъ или ареометра на основаніи закона Архимеда или, при опредѣленіи съ помощью тарирной склянки, вѣсъ воды, вылившейся при введеніи тѣла.

m/n есть приближительный, несправленный удѣльный вѣсъ. Точнымъ удѣльнымъ вѣсомъ будетъ

$$= \frac{m}{n} (Q - \lambda) + \lambda \quad \text{или} \quad \frac{m}{n} Q - 1 + \frac{m}{n} \lambda.$$

Это и есть формула, приводящая всѣ значения, найденныя согласно пунктамъ 1 и 3 въ 15 А или В, къ пустому пространству и водѣ при 4°. Второй видъ формулы, часто болѣе удобный при вычисленияхъ въ умѣ, показываетъ, что вѣснне потери вѣса въ воздухѣ исчезаетъ, когда удѣльный вѣсъ близокъ къ 1, следовательно, при разбавленныхъ водныхъ растворахъ.

Доказательство. Если тѣло твердое или жидкое вѣситъ въ воздухѣ m , а вытѣсняетъ вѣсъ воздуха l , то въ пустотѣ оно вѣситъ $m + l$. Что касается вѣса воды w , то можно различать три случая. Если вѣсъ равнаго объема воды опредѣляется отъ вытѣсненнаго то тѣла в водѣ вычитается $m - l$.

Если опредѣлена кажущаяся потеря въ вѣсѣ, тѣло то тѣло при погруженн въ воду, то потерю w можно также слѣдуетъ увеличить на l , потому что вѣсъ въ пустотѣ былъ бы на l болѣе, чѣмъ въ воздухѣ. Въ третьемъ случаѣ, когда баретляють плотность жидкости, измѣряя кажущуюся потерю въ вѣсѣ одного тѣла, то же тѣло, погруженн въ эту жидкость въ воду, то снѣтъ тѣмъ кажущуюся w въ вѣсѣ потерю, нужно увеличить на l .

Предположимъ еще, что плотность воды была бы 1 и Q въ такомъ случаѣ тотъ же снѣтъ объема воды при 1 вѣснне бытъ l а $m - l$ Q . Итакъ во всѣхъ случаяхъ истинная плотность тѣла $\gamma = \frac{m - l}{Q}$ (а Q). Такъ какъ $m - l$ Q обобщается въ то же время w вѣснне вѣснне вѣснне воздуха вытѣсненнаго удѣльный вѣсъ λ то $l = \lambda (m - l) / Q$, откуда $l = \lambda x (Q - \lambda x)$. Подставляя полученное значение l въ w , имѣемъ данное выше выраженіе.

Примѣръ. Пусть кусокъ серебра вѣснне въ воздухѣ $m = 24.312$ г.
въ водѣ при 19°4' 21.916 г.
тогда кажущаяся потеря вѣса въ водѣ $w = 2.396$ г.

Следовательно поправленіе удѣльного вѣса тѣла бы

$$m - w = 24.312 - 2.396 = 10.147.$$

Изъ плотности воды получимъ, взявъ изъ таблицы 1 для 19°4' $Q = 0.99835$

$$\gamma = 10.147 (0.99835 - 0.00120) + 0.0012 = 10.119.$$

Можно произвести вычисленія въ умѣ, замѣтивъ что

$$0.99835 - 0.00120 = 1 - 0.00285$$

Наконецъ, не слѣдуетъ еще упускать изъ виду, что вѣдѣние тепловаго расширения плотность вообще измѣняется съ температурой, и что вычисленныя значения соответствуютъ той температурѣ, при которой нате тѣломъ произвоилось измѣреніе, напримѣръ, при которой оно погружалось въ воду. Чтобы привести плотность къ какой-нибудь иной температурѣ, необходимо знать законъ расширения тѣла, т. е. для твердаго тѣла коэффициентъ расширения (таблица 11), для жидкости же, вообще говоря, таблицу расширения.

17. Волюмометръ

Приборъ предназначенъ для тѣлъ, которыхъ нельзя погружать въ жидкость. Основанъ на примѣненіи закона Бойля-Мариотта, по которому произведение изъ объема нѣкотораго количества воздуха на давленіе есть при неизмѣнной температурѣ, величина постоянная, см. 18.

Постоянное количество воздуха заперто надъ ртутью сначала подъ атмосфернымъ давленіемъ H мм ртутнаго столба (показаніе барометра). Если при увеличеніи или уменьшеніи объема на измѣренную величину r наблюдается измѣненіе давленія на h мм ртутнаго столба, то первоначальный объемъ равенъ

$$V = r' \frac{H}{h} \quad \text{или} \quad V = \frac{H}{h} r$$

Измѣривъ такимъ образомъ объемъ пустого сосуда, вводятъ въ него тѣло и повторяютъ тѣ же манипуляціи. Разность найденныхъ чиселъ есть объемъ тѣла, плотности равна, слѣдовательно, его вѣсу, дѣленному на эту разность.

r и h не должны быть слишкомъ малы, если желаютъ получить удовлетворительный результатъ. Слѣдуетъ избѣгать измѣненій температуры взятаго количества воздуха отъ близости собственнаго тѣла и т. п. во время опыта.

18. Уравненія состоянія газа. Вычисленіе плотности воздуха и другихъ газовъ

По закону Бойля-Мариотта плотность ρ совершеннаго газа прямо пропорциональна, а объемъ v обратно пропорционаленъ давленію H . Слѣдовательно $\rho \cdot v = H$ и $\rho' : \rho = H' : H$ или $\rho \cdot H = \text{const.}$

При постоянномъ давленіи совершенный газъ расширяется одинаково на каждый градусъ повышенія температуры, именно на 1/273 или 0,00367 объема v занимаемаго имъ при 0°. Слѣдовательно законъ Лавуазье (1789)

$$v = v_0 (1 + 0,00367 t) \quad \text{или} \quad v = \frac{v_0}{273} (273 + t)$$

273 + t называется абсолютной температурой T — это температура, считающаяся по степенямъ Цельсія, на путь которой приняты единицы точка 273° С, на которой другими словами, точка таянья льда обозначена не нулемъ, а числомъ +273.

Комбинируя оба закона, получаютъ выраженіе для плотности ρ при температурѣ t и давленіи H мм ртутнаго столба по плотности ρ_0 при 0° и 760 мм Нг:

$$\rho = \frac{\rho_0 H}{760} \cdot \frac{273}{273 + t}$$

Числовыя значенія выражений $1 + 0.00367 t$ и $H/760$ смотри въ таблицѣ 7.

Плотность (удѣльный вѣсъ) сухого атмосфернаго воздуха при 0° и 760 мм есть $\lambda_0 = 0.001293$. Температурѣ t и барометрической высотѣ H , приведенной къ 0° (см. 37), соответствуетъ плотность воздуха

$$(1) \quad \lambda = \frac{0.001293}{1 + 0.00367 t} \cdot \frac{H}{760}.$$

Эту величину находятъ по таблицѣ 6. Удѣльный вѣсъ λ другого совершеннаго газа для H и t вычисляютъ пропе всего по плотности газа d , отнесенной къ воздуху (таблица 2): $\lambda = \lambda_0 \cdot d$.

Если объемъ газа v измѣренъ надъ жидкостью (напримѣръ, водой), пары которой насыщаютъ пространство v , то по закону Дальтона давление сухого газа получаютъ, вычитая изъ общаго давления упругость паровъ жидкости, насыщающихъ пространство. Для воды см. таблицу 13.

Плотность влажнаго воздуха Влажный атмосферный воздухъ можетъ быть на 1 „ легче, чѣмъ при прочихъ равныхъ условіяхъ сухой воздухъ. Плотность водянаго пара составляетъ приблизительно $\frac{5}{8}$ плотности воздуха при томъ же давленіи и температурѣ: слѣдовательно, для нахождения плотности влажнаго воздуха нужно вычесть изъ общаго давления (показаніе барометра) $\frac{3}{8} e$, гдѣ e представляетъ упругость (давленіе) водянаго пара въ воздухѣ (47), и поправленную такимъ образомъ величину H принять при пользованіи таблицей 6 или предыдущей формулой.

При допущеніи, что воздухъ наполовину насыщенъ парами воды, можно при комнатной температурѣ принять для H все давленіе, но пользоваться формулой

$$(2) \quad \lambda = \frac{0.001295}{1 + 0.004 t} \cdot \frac{H}{760}.$$

18а. Эвдиометръ (Вольта)

Приборъ служитъ прежде всего для опредѣленія кистората въ воздухѣ. Прочная стеклянная трубка закрытая съ одной стороны, раздѣлена какъ по объему такъ и по давленію. Двѣ платиновыя проволоки, впаиваемыя у закрытаго конца, позволяютъ воспламенить взрывчатую газовую смѣсь электрической искрой отъ электростатической машины (электрофора индуктора)

Наполняют эвлюметр ртутью, удаляют приставший к стенкам воздух, опрокидывают над ртутью, вводят просушенный анализируемый воздух и измеряют его объем v_1 , давление H_1 (высота барометра минус высота поднятой ртути) и температуру t_1 . Добавляют сухого водорода в избыток против кислорода и определяют новые v_2 , H_2 и t_2 .

Прижимают трубку к укреплённой на дне ванны пробке, пропускают несколько искры и, приподняв эвлюметр над пробкой, измеряют v_3 , H_3 и t_3 .

Если все три температуры равны, объем кислорода содержащийся в единице объема, равен

$$\frac{1}{3} \left(\frac{v_1 H_1}{e_1(H_1 - e)} + \frac{v_2 H_2}{e_2(H_2 - e)} + \frac{v_3 H_3}{e_3(H_3 - e)} \right),$$

где e означает упругость насыщенного водяного пара при t_1 (таблица 13). Если температура менялась, следует разделить каждое vH и $e_1(H_1 - e)$ на соответствующее $1 + \alpha t$.

Доказательства очень просты, см. также стр. 18.

Более точные прямые и эвлюметрические методы для газовых смесей. Вульф (аналитические методы), Лемпел, физико-химические методы, изд. 3, 1900 (Vulsen, gasometrische Methoden, Hempel physikalisch-chemische Methoden, 3. Aufl. 1900).

19 Определение плотности пара

Неиспаренные пары следуют законам газов. Вещь сама ничто иное как неспаренные пары. По отношению пара d называется плотность пара или газа, по отношению к сухому атмосферному воздуху той же температуры и под тем же давлением.

Важное значение для химии основывается на законе Авогадро, по которому равные объемы различных газов и паров содержат при одной и той же температуре и давлении одинаковое число молекул. Другими словами, молекулярные объемы всех газов и паров при этих условиях одинаковы. Отнесенная к воздуху плотность пара известна равна его молекулярному весу, деленному на 28,9, например, для воды H_2O она равна $18,2895 = 0,622$.

В химии плотность отнесать обыкновенно не к воздуху, а к газу, плотность которого составляет $\frac{1}{32}$ плотности кислорода, т. е. умножить отнесенную к воздуху плотность на $32 : 1,2932 = 28,95$. Вследствие этого плотность пара оказывается просто равной молекулярному весу в паровом состоянии так как молекулярный вес газобразного кислорода (O_2) равен 32.

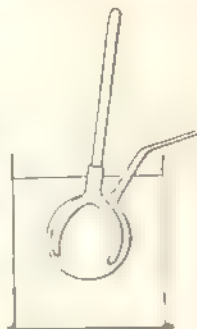
1 грамм-молекула (1 Mol) — это столько граммов вещества, сколько единиц в его химическом молекулярном весе, занимасть в паробразном состоянии при давлении 760 мм ртутного столба и температуре t объем $22.4 (1 + 0.00367 t)$ литров.

У многих паров молекула при повышении температуры становится меньше (диссоциация). действительная плотность пара d в этом случае меньше вычисленной d_0 . При распадении на две молекулы $\frac{d_0}{d} = 2$ называют степенью диссоциации, то есть это есть соответствующее отношение числа распавшихся молекул к первоначальному общему числу.

А. Взвешивание известного объема пара (Дюма)

Берут легкую стеклянную колбу емкостью от 1 до 1.4 литра, например, стеклянный шар с припаянной трубкой, хорошо вымывают и просушивают, нагревая и одновременно высасывая воздух через введенную в шар трубочку, чтобы внутри не осталось ничего, могущего дать пар. Затем трубка отгибается в кончик с отверстием приблизительно в 1 мм^2 и в таком виде прибор взвешивается. После этого вводят в колбу несколько граммов исследуемой жидкости, подогревая колбу и предоставляя жидкости всасываться при охлаждении.

Захватывают колбу в приспособленную для этой цели держатку (рис.) и погружают в ванну так, чтобы открытый кончик выступал наружу; ванна нагревается на 10° — 20° выше точки кипения обрабатываемой в пар жидкости. Когда вся жидкость испарится, баллон хорошо запаивают на пламени паяльной трубки, надежнее всего отогнуть кончик и замечают температуру ванны и высоту барометра.



Вынув колбу из ванны и перевернув ее, дают стесившимся вследствие охлаждения каплям стечь в кончик и убеждаются, что воздух здесь совершенно не проходит. Затем охлажденный и хорошо вытертый баллон снова взвешивают, если нужно, вкладывая с отогнутым при запаивании кончиком, и замечают температуру в шкафике встав, показание термометра, а также высоту барометра, если между запаиванием и взвешиванием прошло довольно много времени.

Наконецъ, опускають кончикъ баллона въ воду, предъ тѣмъ прокипяченную или освобожденную отъ воздуха подъ колоколомъ воздушнаго насоса [или въ ртуть] и, сдѣлавъ напилкомъ надрѣзь, отламываютъ, послѣ чего жидкость входитъ въ баллонъ. Наполненный баллонъ вмѣстѣ съ отломаннымъ кончикомъ снова взвѣшиваютъ, для чего пригодны и болѣе грубые вѣсы. — Пусть

m вѣсъ баллона съ воздухомъ,

m' „ „ „ паромъ,

M „ „ „ водой [или ртутью];

t и h температура пара и высота барометра при запаиваніи;

t и h температура въ шкафикѣ вѣсовъ и высота барометра при взвѣшиваніи съ паромъ. Изъ h (но не изъ h) вычтено $\frac{3}{8}$ упругости e водяного пара (47) въ вѣсовой комнатѣ (см. 18).

λ плотность воздуха, находимая соотвѣственно t' , h' по 18 или изъ таблицы 6.

Тогда плотность пара, если взвѣшивание было произведено съ водой,

$$d = \left(\frac{m'}{M} - \frac{m}{M} \frac{1}{\lambda} + 1 \right) \frac{b' 1 + 0.00367 t}{b 1 - 0.00367 t}$$

[для ртути 13.56 λ' вмѣсто 1 λ'].

Доказательство. Если D и L вѣса пара и воздуха въ баллонѣ то очевидно $D = L \cdot \frac{m'}{m} = D \cdot \frac{m'}{m} = L$. Если бы паръ, какъ и воздухъ, былъ при t' и h' то плотность пара d выражалась бы просто черезъ $d = D = L \cdot \left(\frac{m'}{m} \right) L \cdot 1$ или такъ какъ $L = \lambda' \left(\frac{M}{m} \right)$ черезъ $d = \frac{m'}{M} \frac{m}{\lambda'} \cdot 1$. Но такъ какъ паръ былъ запертъ не при t' и h' , а при t и h , то выражение для d нужно умножить еще на $\frac{b' 1 + 0.00367 t}{b 1 - 0.00367 t}$.

Для большей точности вычислений слѣдовало бы принять во вниманіе температуру воды и расширение стекла, однако оставшія погрѣшности бывають обыкновенно значительно больше.

До сихъ поръ предполагалось, что паръ вполне вытѣсняетъ воздухъ. Если остается воздушный пузырекъ, то шаръ предъ взвѣшиваніемъ наполняютъ совершенно посредствомъ промывалки и вычисляютъ по прежней формулѣ, получается приблизительно вѣрный результатъ. Большой остатокъ воздуха нужно опредѣлять отдѣльно и вводить въ вычисленіе.

Примѣръ. Было найдено

$m = 29.6861 \text{ г.}$ (воздухъ) } следовательно, паръ минусъ воздухъ
 $m = 29.8431 \text{ г.}$ (паръ) } $m' - m = 0.1570 \text{ г.}$

$M = 142.41 \text{ г.}$ (вода) следовательно вода netto $M - m = 112.72 \text{ г.}$
 $b = 745.6 \text{ мм}$ и $t = 99.5^\circ$ (при заправиваніи);

барометръ 742.2 мм , упругость водяныхъ паровъ 9.4 мм , и $t' = 18.7^\circ$
 (при взвѣшиваніи съ паромъ) Следовательно, $b = 742.2 + 9.4 = 738.7$

Изъ таблицы 6 для b' и t' найдено $\lambda' = 0.001176$ Следовательно, плотность пара

$$d = \frac{0.1570}{112.72} \cdot \frac{1}{0.001176} + \frac{738.7}{745.6} \cdot \frac{1.3651}{1.0686} = 2.765$$

Выраженіе $1 + 0.00367 t$ см. въ таблицѣ 7.

Отнесенная къ кислороду 32 плотность пара, или молекулярный вѣсъ пара, равна следовательно, $2.765 \cdot 28.95 = 80.0$ (см. стр. 58)

В. Измѣреніемъ объема паровъ взвѣшеннаго количества жидкости (Га-Люссакъ, Гофманъ)

Тонкостѣнный стеклянный шарикъ, шейка котораго послѣ наполненія запаивается или даже оставляется открытой, если она очень тонка, или крошечная скляночка емкостью около

1 г. 1 см^3 взвѣшивается сначала пустой, затѣмъ

съ веществомъ, плотность паровъ котораго требуется

опредѣлить. Скляночку съ ея содержимымъ подво-

дятъ подъ отверстие стеклянной трубки, наполненной

сухой, не содержащей воздуха ртутью (24) и опро-

кинутой надъ ртутью, и даютъ ей всплыть; трубка

раздѣлена, начиная съ закрытаго конца, на см^3 или

просто на мм , которые, по 23, превращаются въ

объемы. Если жидкость очень летуча, скляночка мо-

жетъ лопнуть еще во время всплыванія, и ртуть, от-

брошенная вслѣдствіе этого въ пустоту, разобьетъ

трубку. Чтобы этого не случилось, наклоняютъ сте-

клянную трубку во время всплыванія настолько, что-

бы ртуть доходила до самаго верха! Окруживъ из-



m вѣсъ испарившагося вещества въ граммахъ,

t , t' температура и объемъ пара въ кубическихъ сантиметрахъ; если

v_0 объем занятой паром части стеклянной трубки при 18° , то следует положить $v = v_0 [1 + 0.000025(t - 18)]$;

b внешнее барометрическое давление,

h высота ртутного столба, над которым находится парь, b и h приведены к 0° (37);

e упругость ртутных паров при температурѣ t .

$t = 80^\circ \quad 100^\circ \quad 120^\circ \quad 140^\circ \quad 160^\circ \quad 180^\circ \quad 200^\circ$

$e = 0.1 \quad 0.3 \quad 0.7 \quad 1.8 \quad 4.2 \quad 8.9 \quad 17.6 \text{ мм.}$

Тогда m есть удѣльный вѣсъ пара по отношению къ водѣ. Чтобы найти плотность пара d , отнесенную къ воздуху при той же температурѣ и давлении, нужно, следовательно, разделить m на удѣльный вѣсъ воздуха, соответствующій давлению $b - h - e$ и t , т. е. на $0.001293 \frac{b - h - e}{1 + 0.00367 t - 760}$.

Слѣдовательно,

$$d = \frac{m(1 + 0.00367 t - 760)}{0.001293 (b - h - e)}$$

С Вытѣснениемъ воздуха (Викторъ Мейеръ)



Объемъ паровъ извѣшеннаго небольшого количества вещества опредѣляется по количеству воздуха, вытѣсненнаго при обращеніи въ парь.

Стеклянная или фарфоровая, для высокихъ температуръ, колбочка съ длинной шейкой и узкой, около 1 мм, газоотводной трубкой (рис.), хорошо высушенная, съ небольшимъ количествомъ азбеста на днѣ, нагревается въ воздушной или паровой ваннѣ или даже въ расплавленномъ парафинѣ и т. п. (таблицы 11 и 12) до требуемой температуръ, выше точки кипѣнія изслѣдуемаго вещества. Ожидаютъ, пока температура станетъ постоянной, т. е. пока не перестанутъ надѣляться подъ водой изъ газоотводной трубки пузырьки воздуха.

Отвѣшенное количество вещества помещаютъ, если нужно, въ корзиночку, стеклянную трубочку или, если оно жидкое, въ скляночку, или взвѣшиваютъ въ совершенно наполненномъ запаянномъ стеклянномъ шарикѣ (который тонаетъ въ слѣдствіе расширения вещества). Приподнявъ пробку, быстро бросаютъ вещество въ колбу и тогда закрываютъ

снова отверстие. Вслед за этим надвигают на отверстие газосводной трубки наполненный водой измерительный цилиндр, собирают в него воздух, вытесняемый парами вещества, и замечают его объем.

Более удобным во многих отношениях, чем пробка, при которой нужно работать очень быстро, является приспособление, состоящее из напайки на горлышко колбы короткой, плотно облегающей каучуковой трубки с стеклянной трубочкой, внизу закрытой или снабженной краном, открывая который, можно воспрепятствовать воде проникнуть в колбу при случайном понижении температуры (рис.). В эту трубочку помещают опускаемое тело и в подходящий момент, выпрямив трубочку, дают ему упасть; или задерживают тело палочкой, введенной сбоку без доступа воздуха, при оттягивании которой тело падает (рис.).



Существенно, чтобы процесс протекал короткое время, чтобы, например, пары не успевали дойти до более холодных частей трубки и конденсироваться там, вследствие чего найденный объем оказался бы слишком малым. Поэтому температура ванны должна быть значительно выше точки кипения вещества. Слишком продолжительное выделение воздуха может указывать на разложение вещества.

Пусть m весь введенного вещества в граммах,

v измеренный объем воздуха в кубических сантиметрах,

t комнатная температура,

H давление, под которым находится воздух в цилиндре, в мм ртутн при 0° ,

тогда искомая плотность пара

$$d = \frac{m}{v} \frac{760}{H} \frac{1 + 0.004t}{0.001293} = 587800 \frac{m}{Hv} (1 + 0.004t).$$

Действительно, если вычислить количество воздуха, которое при тех же условиях имело бы равный объем. Следовательно, весь пар, заключенный в этом количестве воздуха, имеет искомую плотность пара. Измеренный объем воздуха ввести (18) $\frac{0.001293 H}{(1 + 0.004t) 760}$, откуда непосредственно и получается данное выше выражение. Множитель 0.004 взять

вместо коэффициента расширения 0.00367 съ целью учесть влажность воздуха. Онъ приблизительно соответствуетъ при обыкновенной температурѣ, допущенію, что воздухъ въ колбѣ былъ насыщенъ на двѣ трети, а въ цилиндрѣ, надъ водой, вполне.

Давление H равно высотѣ барометра h безъ высоты h водяного столба подъ воздухомъ, приведеннаго къ ртутному. Следовательно, $H - h = \frac{1}{13.6} h$. Если предъ отчитываніемъ погрузить измѣрительную трубку настолько, чтобы уровень воды внутри ея и снаружи былъ одинаковъ, то H есть просто барометрическая высота

20. Опредѣленіе плотности газа

Плотность газа есть для газообразныхъ тѣлъ то же, что плотность пара для другихъ веществъ. І.е., какъ и послѣднюю, относятъ къ воздуху той же температуры и подъ тѣмъ же давленіемъ, см. 19 начало. Для расчетовъ служатъ законы газовъ (18)

А. Взвѣшиваніемъ

Для опредѣленія плотности постояннаго газа наполняютъ имъ стеклянный баллонъ съ припаянной стеклянной трубкой (удобнѣ всего съ краномъ), для чего, напримѣръ, наполняютъ баллонъ ртутью, опрокидываютъ его надъ ртутной ванной и вытѣсняютъ ртуть газомъ. Въ тотъ моментъ, когда ртуть внутри и снаружи стоитъ на одномъ уровнѣ, і.е. когда газъ находится подъ атмосфернымъ давленіемъ, баллонъ запираютъ и взвѣшиваютъ (m'). Затѣмъ газъ вытѣсняется достаточно сильной струей воздуха (комнатнаго, не просушеннаго), и баллонъ взвѣшивается открытымъ (m). Пусть, наконецъ, взвѣшивание съ водой или ртутью дало вѣсъ M ; h и t , какъ въ 19А, высота барометра и температура въ моментъ запиранія газа; t' и h' соответствуютъ моменту взвѣшивания баллона съ газомъ. Тогда плотность газа вычисляется по формулѣ стр. 60

Нѣкоторое количество ртути, могущее остаться при наполненіи газомъ, оставляется безъ измѣненія при всѣхъ взвѣшиваніяхъ.



Располагая достаточно большимъ количествомъ газа, можно воспользоваться также стеклянной колбочкой съ двумя трубками (или пикнометромъ четвертый на рис. стр. 46), изъ которой вытѣсняютъ воздухъ непрерывной струей газа. Газъ, тяжелѣе воздуха, вводится черезъ длинную трубку и наоборотъ. Для приближительнаго опредѣленія можно удовлетворяться даже любой узкой склян-

кой или колбочкой емкостью от 100 до 200 см³. Смотря по тому, тяжелее или легче воздуха взятый газ, склянку во время наполнения ставят прямо или горлышком вниз, вводя газ через узкую трубочку, доходящую до самого дна; закупоривают каучуковой пробочкой, медленно вытянув трубку. Следует избегать нагревания рукой и, во избежание диффузии, производить взвешивание быстро. О вычислении см. стр. 60.

Если наполнение и взвешивание происходят при одной и той же температуре и давлении, то имеем просто

$$d = \frac{m}{M} \frac{m_1}{m_2} + 1.$$

В. По времени истечения (Бунзенъ)

Плотности газов приблизительно обратно пропорциональны квадратамъ скоростей истечения, съ которыми газы выходятъ, подъ однимъ и тѣмъ же давленіемъ, изъ узкаго отверстія въ стѣнкѣ. Если поэтому сравнить время истечения опредѣленнаго количества газа со временемъ истечения при тѣхъ же условіяхъ, равнаго объема воздуха, то квадратъ отношенія времени даесть плотность газа.

Стеклянный цилиндръ (черт.) съ краномъ, закрытый сверху шлифомъ, на который напаяна тонкая металлическая пластинка съ очень узкимъ отверстіемъ, наполняется надъ ртутью (24) сухимъ, отфильтрованнымъ отъ пыли черезъ вату воздухомъ или изслѣдуемымъ газомъ. Для наполненія удобенъ двухходовой кранъ, второй каналъ котораго проходитъ въ пробкѣ крана въ направленіи ея длины; при отсутствіи такового пользуются верхнимъ отверстіемъ, удаливъ шлифъ. Газъ вводится черезъ надѣтую каучуковую трубку. Если цилиндръ можно погрузить въ ртуть до самаго крана, то наполняютъ, медленно подымая цилиндръ. Въ противномъ случаѣ поднимаютъ его настолько, чтобы поверхность ртути какъ разъ еще закрывала его нижнее отверстіе и пропускаютъ газъ въ избытокъ до полнаго вытѣсненія воздуха; однако этотъ способъ ненадеженъ, такъ какъ при отдѣленіи пузырей газа нѣкоторое количество воздуха легко можетъ ворваться въ цилиндръ.



Погружаютъ теперь цилиндръ въ ртуть на такую глубину, одинаковую притомъ во всѣхъ опытахъ, чтобы половина (черт.) скрылась изъ виду и открываютъ кранъ. За уровнемъ ртути въ

цилиндрѣ, наблюдать который прямо — не позволяет непрозрачность ртути, слѣдять по увлекаемому ртутью поплавку, на которомъ имѣются двѣ отчетливыя мѣтки, одна у верхняго конца, другая на нѣсколько сантиметровъ выше нижняго конца. Наблюдаютъ моменты, когда эти мѣтки какъ разъ выступаютъ изъ поверхности ртути. Черта, находящаяся непосредственно надъ нижней мѣткой (черт.), должна готовитьъ къ ея появленію.

Примѣръ.		воздухъ	углекислота
Моментъ появленія верхней мѣтки		14·3 сек	42·5 сек
„ „ нижней „	51·2 „		<u>1 мин 27·8 „</u>
продолжительность		36·9 сек	45·3 сек

Слѣдовательно, для углекислоты по отношению къ воздуху, $d = (15 \pm 36.9)^2$

1.507 Плотность по отношению къ водороду (— 2), или молекулярный вѣсъ, равняется 1.507 \cdot 28.95 = 43.6 (вмѣсто CO_2 44)

ИЗМѢРЕНІЕ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

21. Измѣреніе длины

1. Масштабъ съ чертами

Вслѣдствіе тепловаго расширенія масштабъ можетъ быть вѣренъ только при одной опредѣленной температурѣ его „нормальной температурѣ" t_0 . Измѣренная имъ при другой температурѣ t кажущаяся длина l на самомъ дѣлѣ равна $l(1 + \beta(t - t_0))$, гдѣ β коэффициентъ расширенія (табл. 11, латунь 0.000019). Тепловымъ расширеніемъ деревянныхъ масштабовъ въ направлении волоконъ можно по большей части пренебречь.

Нониусъ. Служить для опредѣленія дробныхъ долей дѣленія масштаба, независимо отъ оцѣнки на глазъ. Подвижная точка („нулевая точка"), установка которой на масштабѣ отчитывается, представляетъ начало дѣлений передвижной вспомогательной шкалы, содержащей 10 дѣлений, равныхъ въ суммѣ или 9 или 11 дѣленіямъ масштаба(черт.). Если нуль нониуса смѣщенъ относительно черты дѣленія на $n/10$, то n -ая черта нониуса совпадаетъ съ одной изъ цѣлыхъ чертъ главнаго масштаба. На чертежѣ одинъ изъ нонусовъ показываетъ 221.7, другой 246.7.



Параллаксъ. При косомъ визированіи возникаетъ ошибка вслѣдствіе „параллакса", особенно трудно устранимая при измѣреніи высоты жидкости въ раздѣленной трубкѣ. Чтобы узнать, перпендикулярно ли къ дѣленіямъ направление визирования, пользуются полоской зеркальнаго стекла, прикладываемой къ дѣленіямъ. Глазъ держать такъ, чтобы его зеркальное изображеніе казалось расположеннымъ у точки, установку которой опредѣляютъ.

Микроскопъ. Для очень малыхъ длинъ лучше всего примѣнить микроскопъ съ „окулярнымъ микрометромъ". Положивъ подъ микроскопъ въ качествѣ объекта стеклянный микрометръ съ дѣленіями извѣстной величины, опредѣляютъ сперва значеніе дѣлений окулярнаго микрометра и затѣмъ поступаютъ понятнымъ образомъ.

Самъ окулярный микрометр можетъ состоять изъ нанесенныхъ на стеклѣ дѣлений или изъ одной или пары нитей, передвигаемыхъ микрометрическимъ винтомъ. Перемѣщение отсчитывается на tamburъ винта.

Не упускайте изъ виду, что постоянство увеличения микроскопа предполагаетъ неизмѣнность положенія окулярнаго микрометра относительно объектива.

II. Контактные масштабы

Разстояние между двумя конечными плоскостями тѣла измѣряють съ большей или меньшей точностью посредствомъ длино- и толстомѣровъ (извѣстныхъ въ продажѣ подъ названиями Schustermaß, Fühlhebel, Kontaktschraube). Слѣдуетъ обращать вниманіе на правильность ихъ нулевой точки или вводить необходимыя поправки.

Сферометръ. Для тонкихъ измѣреній толщины служитъ винтъ сферометра, ходъ винта и принимаютъ сначала за единицу длины. Изображенный на рисункѣ простѣйшій сферометръ ставится сначала гремя ножками на плоскую подножку (на пластинку зеркальнаго



стекла, передняя поверхность которой даетъ на большомъ разстояніи правильное зеркальное изображеніе; см. 66 IV), причемъ находящійся въ серединѣ винтъ устанавливаютъ какъ разъ на соприкосновеніе (см. ниже). Это положеніе замѣчаютъ, отсчитывая дробныя доли хода винтана раздѣленномъ кругѣ, вращающемся вмѣстѣ съ вингомъ, а цѣлая — по числу оборотовъ или на масштабикѣ, котораго этотъ кругъ почти касается.

Затѣмъ вращаютъ винтъ въ обратную сторону, считая для большей надежности обороты, кладутъ подъ него тѣло, толщину котораго слѣдуетъ опредѣлить, снова устанавливаютъ винтъ на соприкосновеніе, дѣлають отчетъ и берутъ разность между этой установкой и первой. Толщина проволоки и т. п. измѣряется между острями или пластинками. Для перевода толщины на «л» слѣдуетъ умножить найденную разность на высоту хода винта, данную при приборѣ или опредѣленную какимъ-нибудь способомъ.

Что остріе винта какъ разъ касается поверхности, узнають по тому, что приборъ тогда не стоитъ уже твердо, а качается на остріѣ винта или легко можетъ вращаться около него.

Очень тонкій оптическій критерій могутъ доставить Ньютоновы полосы интерференціи. Для этого кладутъ между остриемъ и подставкой еще стеклянную пластинку, верхняя поверхность которой служить теперь исходной плоскостью. Между пластинками возникаютъ тогда полосы интерференціи, особенно отчетливыя при освѣщеніи натріевымъ пламенемъ; прикосновеніе винта рѣзко обнаруживается тотчасъ происходящимъ смѣщенемъ полосъ интерференціи.

Для установки можетъ служить, вмѣсто плоскопараллельной пластинки, также чувствительный рычажокъ или чувствительный уровень надъ винтомъ. Тогда устанавливають всегда на одно и то же дѣленіе указателя или смѣщеніе пузырька уровня.

Объ измѣреніи радіуса кривизны см. 66 I.

22. Катетометръ

Катетометръ служитъ для измѣренія разстояній по вертикали. Горизонтальная зрительная труба, вращающаяся около вертикальной оси, можетъ передвигаться посредствомъ салазокъ вдоль вертикальнаго масштаба. Для правильности измѣреній необходимо, чтобы ось трубы была всегда горизонтальна, чтобы, слѣдовательно, ось вращения была вертикальна, а направленіе визирования перпендикулярно къ ней. О горизонтальности трубы судятъ по уровню на ней, вращая трубу вокругъ ея оптической оси, слѣдуетъ испытать, совпадаетъ ли оптическая ось съ геометрической. При помощи того же уровня судятъ о вертикальности оси вращения, что имѣетъ мѣсто если установка уровня при вращеніи не мѣняется. Вертикальность самого масштаба провѣряется достаточно точно посредствомъ отвѣса.

При слишкомъ большихъ разстояніяхъ примѣненіе катетометра становится ненадежнымъ по причинѣ неточности установки, искривленія масштаба и большихъ ошибокъ вслѣдствіе сотрясеній.

23. Опредѣленіе емкости взвѣшиваніемъ

Продажные измѣрительные сосуды, липетки, бюретки и проч. часто бываютъ очень неѣрны. Распространено еще Моревское (Mohr) обозначеніе „Сист“, выводимое изъ кажущагося вѣса воды при 15° въ воздухѣ. При этомъ литръ оказывается на 19 гм³ больше истиннаго. Находящіеся теперь въ продажѣ клейменныя мѣры емкости раздѣлены согласно правильно опредѣленной мѣрѣ.

Если жидкость вѣсить въ воздухѣ m , то ея объемъ въ $с\text{м}^3$:

$$v = \frac{m}{s} \left(1 + \frac{\lambda}{s} - \frac{\lambda}{\sigma} \right),$$

гдѣ s , σ и λ плотности жидкости, разновѣсовъ и воздуха (0.0012; 18 и табл. 6); см. 13 II и табл. 1.

Калибруютъ почти исключительно водой или ртутью. 1 $с\text{м}^3$ воды при 4° вѣситъ въ пустотѣ 1 г. При другой температурѣ пусть плотность воды будетъ Q (табл. 4). Кажущійся граммъ, найденный взвѣшиваніемъ въ воздухѣ, латунными разновѣсками ($\sigma = 8.4$), имѣетъ, слѣдовательно, объемъ $\frac{1}{Q} \left(1 + \frac{0.0012}{Q} - \frac{0.0012}{8.4} \right) с\text{м}^3$, или безъ замѣтной погрѣшности (стр. 27), $(2.00106 - \frac{1}{Q}) с\text{м}^3$. Кажущійся граммъ воды при 18° занимаетъ объемъ 1.00244 $с\text{м}^3$. Ради удобства, для вымѣриванія сосуда изъ обыкновеннаго стекла, во второй части табл. 4 приведены объемы и при другихъ температурахъ, притомъ уже исправленные такъ, что они дѣйствительны для объема сосуда при 18°.

Если объемъ сосуда при температурѣ t надо перечислить на другую t' , то

$$v' = v (1 + 3\beta(t' - t)),$$

гдѣ β коэффициентъ линейнаго расширенія сосуда (табл. 11). Для обыкновеннаго стекла, въ среднемъ, $3\beta = 1/40000$.

Мѣры емкости могутъ быть опредѣлены и проверены или для наполненія сухого сосуда или для выливанія. Первое точнѣе. Во второмъ случаѣ вычитаютъ, понятно, вѣсъ смоченнаго сосуда. Если хотять, чтобы этотъ приемъ далъ точные результаты, надо тщательно соблюдать постоянство условий и продолжительности стеканія капель или выдуванія.

Вліяніе мениска жидкости исключаютъ по возможности, дѣлая отчетъ всегда одинаково, обыкновенно въ горизонтальной плоскости, касательной къ мениску. Необходимость, для устранения паралакса, визировать въ одномъ и томъ же направленіи принуждаетъ пользоваться зрительной трубой, передвигающейся на вертикальной штаниѣ, или, проще, направлять глазъ всегда на одну и ту же отдаленную точку, или, наконецъ, примѣнять полоски зеркальнаго стекла (стр. 67).

Калиброваніе раздѣленной трубки ртутью. Наполняютъ ртутью небольшой отшлифованный сверху, покрытый пластинкой сосудъ, напримѣръ, стеклянную закрытую внизу трубочку, вмѣщающую такимъ образомъ исполнѣ опредѣленное количество ртути, и,

держа ее для предупрежденія нагреванія за рукоятку, выливаютъ въ калибруемый сосудъ; затѣмъ повторяютъ это, отмѣчая каждый разъ уровень ртути. Объемъ ртути, см. 24.

24. Калиброваніе узкой трубки

Очистка ртути. Пыль удаляется фильтрованіемъ черезъ бумажную воронку или фильтръ съ узкой дырочкой, окисъ или посторонние металлы истряхиваніемъ, напримѣръ, съ разбавленной азотной кислотой и затѣмъ неоднократнымъ основательнымъ взбалтываніемъ съ водой. Затѣмъ сушатъ: съ поверхности фильтровальной бумагой, окончательно нагреваніемъ приблизительно до 150° .

Измѣреніе сѣченія узкихъ трубокъ необходимо, напримѣръ, при опредѣленіи коэффиціента тепловаго расширенія или капиллярной постоянной жидкости, при изготовленіи термометровъ, при измѣреніи электрическаго сопротивленія.

Вычищенная и хорошо просушенная струей воздуха грубка кладется горизонтально на масштабъ (съ зеркаломъ для устраненія параллакса), и вводится столбикъ чистой ртути, который можно передвигать. Последнее производится наклоненіемъ и постукиваніемъ или посредствомъ кусочка каучуковой кишки, надѣтой на грубку, закрывъ одной рукой конецъ кишки, можно другой рукой двигать столбикъ впередъ и назадъ, выжимая воздухъ изъ кишки или, если она раньше была сжата, вытягивая.

Если грубка открыта у одного только конца, то для введенія или передвиженія ртути нужно дать выходъ находящемуся подъ нею воздуху. Это легко сдѣлать, вдвигая въ грубку черезъ ртутный столбикъ чистую тонкую проволоку, желѣзную или лучше платиновую. Вдоль проволоки образуется самъ собою воздушный каналъ.

Чтобы раздѣлить грубку на равные объемы, передвигаютъ столбикъ всегда на такое разстояніе, чтобы его начало пришлось, приблизительно, тамъ, гдѣ раньше былъ конецъ, и отмѣчаютъ его длины, которымъ соответствуютъ тогда равные объемы. При раздѣленіи на очень большое число отрѣзковъ ошибки отчетовъ накапливаются. Въ этомъ случаѣ лучше комбинировать наблюденія съ длинными и короткими столбиками. Напримѣръ, чтобы раздѣлить на 25 частей, можно сперва оперировать столбикомъ въ $\frac{1}{5}$ длины трубки и дѣлить затѣмъ полученные отрѣзки столбикомъ въ 5 разъ меньшимъ.

Результаты представляются таблицей или кривой на координатной бумаге (8), и для промежуточных сечений интерполируются.

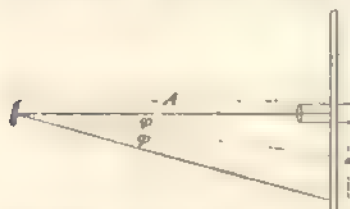
Абсолютный калибр. Количество ртути, всыпающее в воздух 1 г (13 и 23), занимает при температуре t объем $0.07355 (1 + 0.000182 t)$ или $0.07379 (1 + 0.000182 (t - 18)) \text{ см}^3$.

Чтобы принять в расчет мениск, бывает большей частью достаточно, в узких трубках, отнимать от длины столбика, измеренной между вершинами, по 0.4 высоты мениска с каждой стороны. Среднее сечение q измеренного отрезка, объем которого V , вычисляются по формуле $q = V/l$, где l длина столбика.

25. Измерение углов помощью зеркала и шкалы

Измерение вращений помощью зеркал и шкалы находит многократные применения. Оно применяется в магнитометрах и гальванометрах (Потендорф, Гаусс). Метод предполагает, что измеряемый угол мал.

С вращающимся телом соединено зеркало, параллельное оси вращения. Вблизи плоскости, описываемой при вращении нормалью к зеркалу, находится шкала, разделенная обыкновенно на m м, на



разстоянии, смотря по обстоятельствам, от 0.5 до 5 м. Или наблюдают ее отраженное изображение в направленную на зеркало зрительную трубу с нитяным крестом (черт.), или направляют на зеркало свет от какого-нибудь

источника, дающий по отражению изображение на шкале, смещающееся при вращении (зайчик). Обыкновенно дают шкале или трубе (или источнику света) положение, в котором, при неисклоненном зеркале, основание перпендикуляра, опущенного из зеркала на шкалу, видно, приблизительно, на нитяном кресте (или попадет на зайчика). Находим эту точку средним делением шкалы. Его находят проще всего помощью наугольника, который прикладывают катетом к шкале так, чтобы, визируя в направлении другого катета, увидеть на его продолжении зеркало.

Установка трубы и шкалы. Сперва устанавливают трубу, смещая окулярную грубку приблизительно на надлежащую дальность зрения, т. е. на двойное разстояние шкалы от зеркала. Затем, направляя все время трубу на зеркало, дают ей такое по-

положеніе, при которомъ наблюдатель, держа глазъ вплотную у средняго дѣленія шкалы, увидитъ въ зеркалѣ объективъ трубы или, держа глазъ у трубы, среднее дѣленіе шкалы. Тогда уже изображеніе шкалы, если оно еще не въ полѣ зрѣнія трубы, приводится туда легкимъ вращеніемъ трубы. Наконецъ, приступаютъ къ болѣе тонкой установкѣ.

Сюда относится установка на отчетливое видѣніе шкалы и нитянаго креста. Сперва устанавливаютъ на разстояніи яснаго зрѣнія нитяной крестъ, затѣмъ смѣщаютъ всю окулярную трубку до полного исчезновенія параллакса дѣленій шкалы относительно нитянаго креста, т. е. пока они не перестанутъ смѣщаться относительно другъ друга при боковомъ движеніи глаза прѣзь окулярномъ.

Надѣтая на трубу заслонка дѣлаетъ ненужнымъ закрываніе не наблюдающаго глаза.

Объективное наблюденіе. Направляютъ линзой свѣтъ отъ рѣзко очерченнаго источника свѣта (щель; нить прѣдъ пламенемъ; электрическая калильная лампа съ прямой нитью) на зеркало и оттуда на шкалу. Чтобы получилось дѣйствительное изображеніе, источникъ свѣта долженъ быть, во всякомъ случаѣ, за фокусомъ линзы. Правильное положеніе, при которомъ на шкалѣ получается отчетливое дѣйствительное изображеніе мѣтки, находятъ путемъ пробъ, заботясь также о хорошей центрировкѣ линзы (67). Взявъ вмѣсто плоскаго зеркала вогнутое, можно обойтись безъ проекционной линзы. Если въ этомъ случаѣ источникъ свѣта долженъ быть на такомъ же разстояніи отъ зеркала, что и шкала, то это разстояніе слѣдуетъ избрать равнымъ радиусу кривизны (66), или удвоенному фокусному разстоянію зеркала.

Вычисленіе угла и его функций изъ отчета на шкалѣ

Допустимъ, что установка на шкалѣ неотклоненнаго зеркала и т. д. приблизительно совпадаетъ съ основаніемъ перпендикуляра, опущеннаго изъ зеркала на шкалу (съ „среднимъ“ дѣленіемъ шкалы). Отклоненіемъ на шкалѣ назовемъ разность s между наблюдаемымъ дѣленіемъ t шкалы и этимъ положеніемъ равновѣсія.

Въ дальнейшемъ предполагается, что зрительная труба при объективномъ наблюденіи—источникъ свѣта—расположена вблизи плоскости, проходящей черезъ зеркало и шкалу. Напротивъ, находится ли она вблизи средняго дѣленія шкалы, не имѣетъ никакого значенія.

1. При небольшихъ отклоненіяхъ уголъ отклоненія φ пропорционаленъ отклоненію на шкалѣ. При этомъ, если l разстояніе отражающей по-

верхности отъ шкалы, выраженное въ дѣленіяхъ шкалы (слѣдовательно, въ μ и если шкала раздѣлена на n μ), то угловое значеніе одного дѣленія шкалы въ абсолютной мѣрѣ (1, № 3, § 1 (2A), въ градусахъ и т. д.

$$= \frac{1}{A} \cdot 28'648'' = \frac{1}{A} 1718'9'' = \frac{1}{A} 103132''.$$

Далѣе,

$$\sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi = e \quad (2A).$$

2 При болѣе значительныхъ отклоненіяхъ до 60° достаточны для обычныхъ цѣлей выраженія

$$\varphi = \frac{28'648''}{A} e \left(1 - \frac{1}{4} \frac{e^2}{A^2}\right), \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{e}{2A} \left(1 - \frac{1}{4} \frac{e^2}{A^2}\right),$$

$$\sin \varphi = \frac{e}{2A} \left(1 - \frac{1}{4} \frac{e^2}{A^2}\right), \quad \sin \frac{\varphi}{2} = \frac{e}{4A} \left(1 - \frac{1}{4} \frac{e^2}{A^2}\right)$$

Такимъ образомъ по отклоненію e находятъ величину, пропорциональную углу, тангенсу, синусу, синусу половины угла, вычитая $\frac{1}{4} \frac{e^2}{A^2}$ или $\frac{11}{32} \frac{e^3}{A^3}$ изъ e .

3 При любомъ отклоненіи на прямолинейной шкалѣ

$$\operatorname{tg} 2\varphi = e/A \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{1}{2} \operatorname{arc} \operatorname{tg} (e/A).$$

Последнія формулы получаютъ прямо изъ чертежа на стр. 72, другимъ разложеніемъ въ ряды φ , $\operatorname{tg} \varphi$ и т. д.

Измѣреніе разстоянія шкалы. Измѣреніе съ точностью до ± 1 мм посредствомъ ленточнаго масштаба, проволоки, которую потомъ измѣряють, или двухъ скользящихъ другъ по другу масштабовъ не представляетъ обыкновенно никакого затрудненія и является достаточнымъ въ виду того, что болѣе точное измѣреніе A потребовало бы еще нѣкоторыхъ поправокъ на толщину стекла и наклонъ зеркала.

26. Нахождение положения равновѣсія изъ колебаній

Дѣленіе шкалы, на которомъ установилось бы зеркало, если бы оно было въ покоѣ, положеніе покоя или равновѣсія (напримѣръ, магнитной стрѣлки) находятъ изъ наблюденій надъ колеблющимся зеркаломъ слѣдующимъ образомъ.

1 Наблюденіе точекъ поворота. Если затуханіе колебаній незначительно то положеніе равновѣсія находятъ, примѣрно, изъ трехъ слѣдующихъ одна за другой точекъ поворота, для чего берутъ среднее изъ № 2 и средняго арифметическаго изъ № 1 и № 3. Или наблюдаютъ любое нечетное число точекъ поворота, берутъ среднее, съ одной стороны, изъ № 1, 3, 5..., съ другой, изъ № 2, 4..., и соединяютъ оба числа въ общее среднее, какъ указано было для

вѣсовъ (10 II). При быстрыхъ колебаніяхъ можно пропускать по двѣ, примѣрно, точки поворота.

2. Наблюденіе положенія. Если движеніе стрѣлки такъ медленно, что въ каждый моментъ можно точно опредѣлить положеніе нити наго креста на шкалѣ, то положеніе равновѣсія опредѣляется какъ арифметическое среднее изъ любыхъ двухъ отчетовъ, сдѣланныхъ одинъ послѣ другого черезъ промежутокъ времени, равный періоду колебанія.

3. Затухающія колебанія. При болѣе сильномъ затуханіи (благодаря, напримѣръ, мультипликатору или мѣдному демферу по-кругъ магнитной стрѣлки или воздушному демферу) положеніе равновѣсія p_0 находится изъ двухъ отчетовъ, отстоящихъ на періодъ колебанія, p_1 и p_2 , напримѣръ, изъ двухъ точекъ поворота по формулѣ

$$p_0 = p_2 + (p_1 - p_2) (1 + k),$$

гдѣ k декрементъ затуханія (см. 27 и примѣръ тамъ же).

27. Затуханіе и логарифмическій декрементъ

Затуханіе колебаній происходитъ вслѣдствіе силы сопротивленія (треніе въ воздухѣ и т. п., электрическіе токи, наводимые движеніемъ), пропорциональной обыкновенно мгновенной скорости. Амплитуда колебанія убываетъ тогда въ постоянномъ отношеніи k , называемомъ декрементомъ затуханія, $\log k$ называется логарифмическимъ декрементомъ. Точное знаніе этихъ величинъ важно особенно при нѣкоторыхъ электрическихъ измѣреніяхъ.

Опредѣленіе производится посредствомъ наблюденія ряда точекъ поворота. Разность двухъ слѣдующихъ другъ за другомъ точекъ поворота, исправленная при большихъ колебаніяхъ по 25, даетъ дугу. Если a_p величина p -ой, a_q величина q -ой дуги, то

$$k = \left(\frac{a_p}{a_q} \right)^{\frac{1}{q-p}} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{\log a_p}{q} - \frac{\log a_q}{p}.$$

Изъ ряда поворотныхъ точекъ (лучше всего изъ нечетнаго числа ихъ) можно вывести затуханіе, какъ указываетъ примѣръ на слѣдующей страницѣ. λ — разстояніе точки поворота отъ средняго дѣленія шкалы (здѣсь 500) Разстояніе шкалы равно 2600 дѣленій шкалы, следовательно, поправка отклоненія на приведеніе къ дугѣ равна $\lambda \cdot 2600^2$ (25). Изъ дугъ №. 1 и 4, 2 и 5 и т. д. получаются λ и k .

За вертикальной чертой проставлены положения равновѣсія, вычисленные каждое изъ двухъ точекъ поворота по найденному декременту $k = 1.151$ (26, № 3).

Наблюд. точки пов.		α 3 2600 ²	Испр. точки пов.	Дуги α	α 2 151	Положения равновѣсія
285.0	215	0.5	285.5	121.0	197.1	512.1
710.0	210	0.5	709.5	368.1	171.1	512.5
341.2	159	0.2	341.4	320.9	149.2	513.1
662.5	162	0.2	662.3	278.3	129.4	513.4
384.9	116	0.1	384.0	241.6	112.3	513.3
625.7	126	0.1	625.6	210.0	97.6	513.2
415.6	84	0.0	415.6			512.98

Получается изъ 1 и 4	λ	(log 121.0)	log 278.3)	0.0610
2 5		368.1	241.6	0.0610
3 6		320.9	210.0	0.0614

Среднее $\lambda = 0.0611$; $k = 1.151$

Примѣняя натуральные логарифмы или умножая полученное выше λ на 2.3026, получаютъ важный для извѣстныхъ электрическихъ измѣреній „натуральный логарифмический декрементъ“

28. Періодъ колебанія

Периодомъ колебанія маятника магнитной стрѣлки и т. п.¹⁾ называютъ промежутокъ времени, протекающій отъ какого-нибудь поворота до слѣдующаго на другой сторонѣ. При медленныхъ колебаніяхъ моментъ поворота неудобенъ для опредѣленія, такъ какъ именно въ этотъ моментъ движеніе становится незамѣтнымъ. Напротивъ, черезъ точку, лежащую вблизи положенія равновѣсія, тѣло проходить съ наибольшей скоростью, и прохожденіе наблюдается точно. Изъ двухъ слѣдующихъ одинъ за другимъ моменты прохожденія черезъ одну и ту же точку (въ противоположныхъ направленіяхъ) находятъ моментъ промежуточнаго поворота какъ среднее арифметическое.

Намѣчаютъ точку, лежащую вблизи положенія равновѣсія (на шкалѣ, навѣсивъ достаточно замѣтную нитку), наблюдаютъ, по удару секунднаго маятника, моменты прохожденія этой точки, и берутъ прежде всего среднее изъ каждыхъ двухъ такихъ смежныхъ моментовъ. Десятые доли секунды оцѣниваются по отношенію разстояній

¹⁾ Въ акустикѣ и оптикѣ периодомъ колебанія называется величина, вдвое большая.

нити отъ мѣтки въ моменты ударовъ маятника непосредственно до и послѣ прохождения.

Вычисленіе періода колебанія. Если изъ n наблюдавшихся какимъ образомъ послѣдовательныхъ періодовъ колебанія опять взять среднее, то получился бы такой же результатъ, какъ если бы разность между первымъ и послѣднимъ моментомъ поворота раздѣлили на n . Промежуточные наблюденія были бы, слѣдовательно, бесполезны. Чтобы всѣ ихъ использовать, можно раздѣлить ихъ на двѣ половины, брать постоянно разности соответствующихъ номеровъ изъ обѣихъ половинъ, вычислять изъ нихъ арифметическое среднее и дѣлить его на $\frac{1}{2} n$.

Прохождение набл.		Моментъ поворота вычисл.		Периодъ колебанія	
мин	сек	№	мин сек		сек
10	3.9	1.	10 9.90	Изъ № 1 и 1	39.90 : 3 = 13.30
	16.5	2.	23.20		
	29.9	3.	36.15	2 и 3	40.05 : 3 = 13.35
	43.0	4.	49.30		
	56.6	5.	11 3.25	3 и 6	40.15 : 3 = 13.38
11	9.9	6.	16.60	Среднее = 13.34	
	23.3				

Выгоднѣе всего опредѣлить нѣсколько моментовъ поворота, лежащихъ дальше другъ отъ друга, слѣдующимъ, напримѣръ, для опредѣленности, образомъ. Наблюдаютъ дважды (или нѣсколько разъ) по четному числу, напримѣръ, по шести послѣдовательныхъ временъ прохождения черезъ отмѣченную точку. Затѣмъ въ каждой группѣ наблюденій берутъ изъ каждаго двухъ моментовъ, симметричныхъ относительно средней въ группѣ элонгации, арифметическое среднее и изъ нихъ общее среднее.

Первая группа				Вторая группа			
Прохождение			Среднее	Прохождение		Среднее	
№	мин	сек		мин	сек		
1	7	10.7		10	10.5		
2		49.0			18.9		
3		55.6			25.6		
4	8	1.0			33.9		
5		10.7			40.6		
6		18.8	1. 6.		48.9		
Общее среднее			7 59.80			10 29.73	

Оба общія среднія представляютъ моменты двухъ элонгацій настолько точно, насколько они могутъ быть получены изъ этихъ на-

блюдений. Ихъ разность ($= 149.93$ сек), дѣленная на число протекшихъ между ними колебаній, даетъ періодъ колебанія. Нѣтъ надобности сосчитывать эти колебанія: число ихъ можно вывести изъ приближенной величины періода колебанія. Изъ первыхъ двухъ и послѣднихъ двухъ наблюдений первой группы находятъ моменты $7^{\text{мин}} 44.8^{\text{сек}}$ и $8^{\text{мин}} 14.7^{\text{сек}}$, между которыми заключены 4 колебанія. Отсюда періодъ колебанія былъ бы $249.4 : 7.47$ сек. Раздѣливъ 149.93 на 7.47 , находимъ 20.07 ; слѣдовательно, искомое число колебаній, безъ сомнѣнія, 20, и періодъ колебанія $149.93 : 20 = 7.496$ сек.

Короткія колебанія съ періодомъ въ небольшое число секундъ лучше наблюдать въ точкахъ поворота, чѣмъ при прохожденіи чрезъ середину, и притомъ въ точкахъ поворота съ одной только стороны, причемъ, если понадобится, можно дѣлать пропуски.

Приведеніе періода колебанія къ безконечно малымъ дугамъ

Періодъ колебанія массы, движимой упругостью крученія, не зависитъ отъ амплитуды. Чаще однако бываетъ (магнитная стрѣлка, маятникъ), что моментъ вращенія пропорционаленъ синусу угла отклоненія. Тогда періодъ колебанія T возрастаетъ съ амплитудой α по формулѣ

$$T = T_0 \left(1 + \frac{1}{2} \sin^2 \frac{1}{2} \alpha + \frac{9}{64} \sin^4 \frac{1}{2} \alpha + \dots \right)$$

Почти всегда ищутъ предѣлъ T_0 , къ которому стремится періодъ колебанія, если амплитуда становится исчезающе малой. Объ относящейся сюда поправкѣ смотри для большихъ колебаній, табл. 15. Такъ какъ при малыхъ наблюдаемыхъ зеркаломъ амплитудахъ въ p дѣлений шкалы можно положить $\frac{1}{2} \sin^2 \frac{1}{2} \alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{p}{24} \right)^2 = \frac{1}{256} p^2$, гдѣ $\frac{1}{24}$ разстояние шкалы, а слѣдующіе члены исчезаютъ, то можно здѣсь изъ наблюденнаго T вычесть $T \frac{1}{256.42} p^2$

О сильно затухающихъ колебаніяхъ см. выше.

29. Моментъ инерціи

Моментъ инерціи имѣетъ для вращенія то же значеніе, что масса для поступательнаго движенія. О примѣненіяхъ смотри, напримѣръ, маятникъ, модуль крученія, магнитная стрѣлка, вращающіяся катушки.

Моментъ инерціи массы m , сосредоточенной въ точкѣ на разстояніи l отъ оси вращенія, есть $l^2 m$. Единица момента инерціи въ системѣ CGS равна, слѣдовательно $[c \cdot m^2]$. (См. I № 12). Моментъ инерціи нѣсколькихъ неподвижно связанныхъ между собою точекъ или тѣла есть сумма или интегралъ отъ этого выраженія, распространенный по всѣмъ элементамъ тѣла

Періодъ колебаній T направляющей силы P и момента инерціи K связаны формулой $T^2 \pi^2 = K/D$; см. 1, № 12.

I. Вычисленіе

Моментъ инерціи однородныхъ тѣлъ правильной формы можетъ быть найденъ вычисленіемъ. Пусть m означаетъ всегда массу тѣла, K — моментъ инерціи его, отнесенный къ оси, проходящей черезъ центръ тяжести.

Тонкій стержень длины l . Относительно оси, перпендикулярной къ стержню, $K = \frac{1}{12} ml^2$.

Прямоугольный параллелепипедъ. Пусть a и b два ребра его. Относительно оси, параллельной третьему ребру, $K = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2)$.

Цилиндръ (также дискъ) радиуса r . Относительно оси цилиндра $K = \frac{1}{2} mr^2$.

Относительно диаметра срежняго сѣченія цилиндра (если l — длина цилиндра, $K = m(\frac{1}{12} l^2 + \frac{1}{2} r^2)$.

Шаръ радиуса r . $K = \frac{2}{5} mr^2$.

Вспомогательное правило. Если K — моментъ инерціи, отнесенный къ оси, проходящей черезъ центръ тяжести, а K_1 — къ оси, параллельной первой и находящейся на разстояніи a отъ K , то $K_1 = K + ma^2$. Напримеръ моментъ инерціи тонкаго стержня относительно оси, перпендикулярной къ стержню и проходящей черезъ его конецъ, равенъ $\frac{1}{12} ml^2 + \frac{1}{4} ml^2 = \frac{1}{3} ml^2$.

II. Опредѣленіе изъ періода колебанія съ нагрузкой и безъ нея (по Гауссу)

Способъ применимъ къ тѣламъ, колеблющимся подъ дѣйствіемъ постоянной направляющей силы около вертикальной оси, особенно, слѣдовательно, къ магнитамъ. Другимъ тѣламъ можно сообщить постоянную направляющую силу въ формѣ упругости крученія издѣленной (стальной) проволоки.

Наблюдають періодъ колебанія t , увеличивають затѣмъ моментъ инерціи, не мѣняя вращающихъ силъ, на известную значительную величину K_1 и наблюдають снова періодъ колебанія t' . Тогда искомый моментъ инерціи

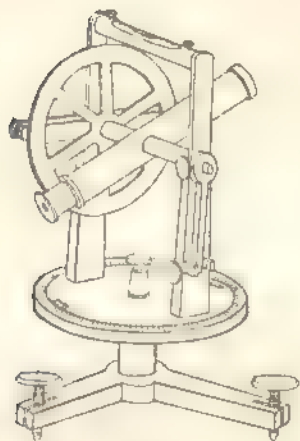
$$K = K_1 \cdot t'^2 / (t'^2 - t^2).$$

Такъ какъ $t'^2 = t^2 \cdot K / (K + K_1)$.

Добавочный моментъ инерціи K_1 можетъ состоять, напримеръ, изъ двухъ равныхъ массъ (въ суммѣ — m), подвѣшенныхъ на короткихъ ниткахъ на равныхъ разстояніяхъ (l) отъ оси вращенія, для l берутъ половину измѣреннаго разстоянія между нитями. По вспомогательному правилу, данному выше, $K_1 = ml^2 + K_0$, гдѣ K_0 представляетъ сумму моментовъ инерціи обѣихъ массъ относительно ихъ

подвѣсныхъ нитей; въ случаѣ цилиндровъ, слѣдовательно, $K_0 = \frac{1}{2} \pi r^2$, шаровъ $\frac{4}{3} \pi r^3$, гдѣ r въ обоихъ случаяхъ радиусъ.

30. Теодолитъ или универсальный инструментъ



Зрительная труба, вращающаяся около двухъ взаимно перпендикулярныхъ осей при раздѣленныхъ кругахъ, служитъ для измѣренія высотъ и азимутовъ, т. е. угловъ между вертикальными плоскостями, въ которыхъ лежатъ визируемыя точки. Для этой цѣли одна ось должна быть вертикальной, другая горизонтальной; направление визирования должно быть перпендикулярно къ послѣдней.

Чтобы исключить вліяніе эксцентричности раздѣленного круга, дѣлаютъ отчеты всегда у обоихъ діаметрально противоположныхъ ноніусовъ. При вычисленіи берутъ цѣлые градусы всегда отъ ноніуса I и только

для долей градуса составляютъ среднее изъ обоихъ отчетовъ.

1. Вертикальная ось. Ось вращенія вертикальна, если пузырекъ уровня не мѣняетъ при вращеніи около этой оси своего положенія относительно дѣленій; ставятъ уровень сперва параллельно линіи, соединяющей два установочныхъ винта и при помощи послѣднихъ приводятъ пузырекъ къ срединѣ. Затѣмъ повертываютъ на 180° и, если пузырекъ занялъ теперь другое положеніе, исправляютъ половину смѣщенія установочными винтами. Наконецъ, повертываютъ на 90° и приводятъ пузырекъ третьимъ винтомъ въ положеніе которое онъ только что оставилъ. Если послѣ перваго раза все еще остается погрѣшность, то приемъ этотъ повторяютъ.

Что прежде всего слѣдуетъ исправить грубыя погрѣшности въ самомъ уровнѣ, и что нулевое положеніе пузырька удобнѣе всего принять за нормальное, понятно само собою.

Горизонтальная ось. Ставятъ уровень на цапфы и замѣчаютъ его установку, затѣмъ перекладываютъ его на цапфахъ и снова дѣлаютъ отчетъ. Если оба отчета не согласуются между собой, то слѣдуетъ исправить половину разности установочными винтами, чтобы установить ось горизонтально. При этомъ предполагается,

что обѣ цапфы одинаковой толщины; для проверки этого перекладываютъ трубу на ея ложахъ вмѣстѣ съ уровнемъ.

3. Испытаніе, перпендикулярна ли оптическая ось трубы къ ея оси вращенія (коллимационная ошибка). Наводятъ на далекий предметъ, лежащій приблизительно въ горизонтальной плоскости прибора, поворачиваютъ горизонтальный кругъ точно на 180° и усаживаютъ трубу, перекладывая, снова въ ея прежнемъ направленіи. Сохраненіе въ точности прежней установки предмета свидѣтельствуетъ объ отсутствіи коллимационной ошибки. Если найдена разниа, то исправляютъ ее на половину смѣщенемъ нитянаго креста, послѣ чего испытаніе повторяютъ.

4. Измѣреніе абсолютной высоты. Горизонтальная и зенитная точки. Предположимъ, что приборъ установленъ по № 1—3. Наводятъ на предметъ и дѣлаютъ отчетъ на кругѣ высоты; поворачиваютъ вертикальную ось на 180° , перекладываютъ трубу, снова наводятъ и дѣлаютъ отчетъ на кругѣ высоты. Разность (знакъ!) обоихъ отчетовъ даетъ удвоенное зенитное разстояніе объекта. Вытя, слѣдовательно, полуразность изъ 90° , получимъ высоту предмета надъ горизонтомъ.

Среднее арифметическое изъ обоихъ отчетовъ даетъ зенитную точку круга высотъ; прибавивъ къ зенитной точкѣ 90° , получимъ горизонтальную точку.

Къ свѣтиламъ эти приемы непосредственно примѣнимы во время кульминаціи. Въ другіе время, если установки выполняются быстро одна за другою, получается высота для момента, среднего между обоими наблюденіями.

Уголъ между двумя предметами. Угловое разстояніе μ находится изъ высотъ h и h' и взаимнаго азимута A обоихъ предметовъ по уравненію $\cos \mu = \sin h \sin h' + \cos h \cos h' \cdot \cos A$.

31. Опредѣленіе меридіана мѣста по наблюденіямъ надъ солнцемъ

Меридіанъ есть вертикальная плоскость, въ которой лежитъ перпендикулярно дню въ истинный полдень, или вертикальная плоскость. Для ея опредѣленія находятъ уголъ между двумя азимутами солнца, для которыхъ одинакова высота если за это время не произошло никакихъ смѣненъ высоты изъ-за собственнаго движенія солнца.

Изъ наблюдений соответствующихъ высотъ.

Наводятъ теодолитъ, ось вращения котораго установлена вертикально (30, 1), до полудня на лѣвый, допустимъ, край солнца, причемъ горизонтальная нить касается верхняго, напимѣрь, края, и дѣлають отчетъ на горизонтальномъ кругѣ. Ничего не измѣняя въ установкѣ на кругѣ высотъ, наводятъ послѣ полудня такимъ же образомъ на правый край солнца въ тотъ моментъ, когда верхній край снова касается горизонтальной нити. Кругъ высотъ ненуженъ.

Въ интересахъ точности поднятие солнца должно происходить быстро, слѣдовательно солнце должно быть не слишкомъ близко къ меридиану.

Во время солнцестояній склонение солнца мѣняется такъ мало, что равнодѣлящая угла между обѣими установками и даетъ меридианъ, въ другое время, однако, вслѣдствие измѣненія склонения солнца требуется слѣдующая „меридианальная поправка“.

Пусть t половина промежутка времени между обоими наблюдениями, выраженная въ часахъ. Далѣе, ϵ измѣненіе солнечнаго склонения за сутки (табл. 26 или логарифмич. таблицы Бремерера стр. 141), слѣдовательно, ϵt 24 представляетъ измѣненіе за время t . Тогда меридианальная поправка равна

$$\frac{1}{\cos \varphi} 24 \sin (15t)^\circ$$

гдѣ φ высота полюса (географическая широта). Для среднихъ европейскихъ широтъ и при наблюденияхъ между 8 и 10 часами утра и, соответственно, 2 и 4 часами пополудни достаточно, въ предѣлахъ точности до минуты дуги, положить поправку равной $0.27. \epsilon$.

Весной меридианъ лежитъ, конечно, восточнѣе, осенью западнѣе найденной срединной линіи.

Изъ наблюдений солнца въ полдень.

Если извѣстно абсолютное время (33), то меридианъ опредѣляется изъ наблюдения центра солнечнаго диска въ полдень „истиннаго“ солнечнаго времени (среднему мѣстному времени минусъ уравнение времени, табл. 26). При этомъ наводятъ теодолитъ на западный или восточный край солнца и наблюденный азимутъ исправляютъ, прибавляя къ востоку или западу уголъ

$$\Delta = 0.27^\circ \sin (\varphi - \delta).$$

0.27° радиусъ, δ склонение солнца (табл. 26), φ высота полюса

32. Высота полюса мѣста

Географическая широта мѣста или высота полюса опредѣляется почти всего изъ высоты звѣзды при ея кульминаціи. Если меридианъ уже извѣстенъ (31), то наблюдаютъ при прохожденіи черезъ него, въ противномъ случаѣ слѣдуютъ трубой за объектомъ вблизи меридиана и замѣчаютъ наивысшее положеніе.

Вслѣдствіе преломленія лучей въ атмосферѣ наблюденная высота должна быть уменьшена на „рефракцію“, которую берутъ изъ табл. 28. Если h исправленная такимъ образомъ высота, а δ склоненіе звѣзды, то высота полюса

$$\varphi = 90^\circ - h + \delta.$$

Наблюдая по солнцу, наводятъ на верхній или нижній край и уменьшаютъ или увеличиваютъ h на радиусъ солнца 0.27° . О склоненіи солнца см. ниже и табл. 26.

33. Опредѣленіе времени по высотамъ солнца

Моментъ прохождения солнца черезъ меридианъ называется видимымъ или истиннымъ полднемъ. Время, опредѣляемое по положенію солнца относительно меридиана, называется солнечнымъ временемъ. Изъ него получаютъ среднее мѣстное время, прибавляя „уравненіе времени“, мѣняющееся со временемъ года по величинѣ и знаку (табл. 26).

Съ другой стороны, мѣстное среднее время для 10° восточной долготы и Гринвича получается изъ среднеевропейскаго времени т. е. изъ времени меридианѣ 15° къ востоку отъ Гринвича, прибавленіемъ $(1 - 15^\circ) \times 4$ мин., вслѣдствіе чего можно также сказать: солнечное время равно среднеевропейскому плюсъ $(1 - 15^\circ) \times 4$ мин. минусъ уравненіе времени.

Уравненіе времени, какъ и необходимое для вычисленія склоненія (столь съ небеснымъ экваторомъ) центра солнечнаго диска берутъ изъ таблицы 26 или изъ болѣе подробной таблицы въ началѣ пятизначныхъ логарифмовъ Бремпфера. Вслѣдствіе періодическаго, выравниваемого високоснымъ годомъ передвиженія начала весны одна и та же таблица не можетъ годиться для каждаго года. Прибавляемая къ среднеевропейскому (вокалярному) времени поправка k , различная для каждаго года, находится въ табл. 27. Съ этимъ исправленнымъ такимъ образомъ временемъ, выраженнымъ въ третиныхъ доляхъ сутокъ съ точностью однако не болѣе 5 минутъ, обращаются къ табл. 26.

1. По высотѣ для одного момента времени

Для мѣста наблюденія, географическая долгота и широта котораго извѣстны, простымъ средствомъ для опредѣленія времени является измѣреніе высоты солнца надъ горизонтомъ, выполняемое при

помощи секстанта или теодолита установкой на верхний или нижний край. Наиболее благоприятно время, когда светило быстро мѣняетъ свою высоту, слѣдовательно, когда оно возможно дальше отстоитъ отъ меридіана. Чѣмъ ближе къ полдню, тѣмъ менѣе точно опредѣленіе. Если

φ географическая широта или высота полюса мѣста (табл. 25),

δ склонение солнца во время наблюдения (см. слѣд. стр.),

h истинная высота центра солнечнаго диска,

то часовой уголъ t солнца и „солнечное время“ въ моментъ наблюденія получается изъ формулы

$$\cos t = \frac{\sin h - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}$$

Если часовой уголъ t опредѣленъ изъ тригонометрическихъ таблицъ въ дугонныхъ градусахъ, то, чтобы получить солнечное время въ часахъ, его слѣдуетъ раздѣлить на 15. t берется до полудня съ отрицательнымъ знакомъ, послѣ полудня съ положительнымъ.

Изъ сферическаго треугольника, образуемаго меридіаномъ кругомъ высотъ и кругомъ склоненія свѣтила, со сторонами $90 - \varphi$, $90 - h$ и $90 - \delta$, причемъ часовой уголъ t лежитъ противъ стороны $90 - h$, получается $\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$. Отсюда вытекаетъ предыдущая формула.

Поправки Изъ наблюденной высоты, которая больше истинной вслѣдствіе преломленія лучей въ атмосферѣ, слѣдуетъ вычесть рефракцію, которую берутъ изъ табл. 28. Послѣ этого прибавляютъ или вычитаютъ радиусъ солнца $\cdot 0.27^{\circ}$.

Географическія широты находятся въ табл. 25, но могутъ быть также взяты съ точностью до 0.01° изъ хорошей карты. Объ опредѣленіи ихъ смотри въ 32.

О склоненіи солнца и переводѣ солнечнаго времени въ мѣстное или среднесвропейское смотри въ началѣ.

II. Изъ наблюденій соответствующихъ высотъ

Пусть свѣтило проходить до и послѣ кульминаціи черезъ горизонтальную нить зрительной трубы, установленной на одну и ту же высоту. Арифметическое среднее изъ обоихъ замѣченныхъ изъ часовъ времени дастъ для свѣтила — не обладающаго собственнымъ движениемъ — моментъ его кульминаціи.

Для солнца это вѣрно только въ дни стояній, когда названное среднее дастъ, слѣдовательно, прямо солнечный полдень. Вообще вслѣдствіе суточнаго измѣненія склоненія солнца, входитъ еще „полуденная поправка“, такъ какъ солнце стоитъ на наибольшей высотѣ

въ первомъ полугодіи нѣсколько послѣ истиннаго полдня, во второмъ раньше.

Пусть снова ϕ мѣстная высота полюса, δ солнечное склонение и ϵ его суточное измѣненіе въ градусахъ (табл. 26 или пятизначные логарифмы Бремикера). Наконецъ, пусть t половина промежутка времени между обоими наблюдениями, выраженного въ часахъ (слѣдовательно, $+15t$ часовой уголъ солнца въ градусахъ). Тогда полуденная поправка, въ секундахъ времени, будетъ

$$10 \epsilon t (\operatorname{tg} \phi - \operatorname{tg} \delta \cos 15t) / \sin 15t.$$

О переходѣ отъ солнечнаго полдня къ гражданскому смотри въ началѣ.

Въ инструментальномъ отношеніи это опредѣленіе времени очень просто, требуя, кромѣ равномерно идущихъ часовъ, только наличности зрительной трубы съ вертикальной осью вращения (30, 1), безъ раздѣленнаго круга, лишь бы ее можно было укрѣплять подъ желаемымъ угломъ къ горизонту. На преломленіе лучей въ атмосферѣ не обращаютъ обыкновенно никакого вниманія; наблюдая по солнцу, устанавливаютъ каждый разъ на одинъ и тотъ же край; приводить наблюдения къ центру не нужно.

Въ интересахъ отчетливаго опредѣленія времени наблюдаютъ подалѣе отъ меридіана.

34. Опредѣленіе хода часовъ

Наблюденія надъ звѣздами

Между двумя прохожденіями звѣзды черезъ одну и ту же точку проходятъ звѣздныя сутки, которыя короче среднихъ сутокъ на $23^{\text{ч}} 56^{\text{м}} 55^{\text{с}} 9$ сек. Наблюдая, напримѣръ, на вертикальной нити укрѣпленной неподвижно зрительной трубы, звѣзду вблизи меридіана нѣсколько дней и сравниваютъ времена прохождения, принимая въ расчетъ суточное упрежденіе звѣзды, съ показаніями часовъ.

Проще всего, легко достигая притомъ точности до 1 сек., наблюдать невооруженнымъ глазомъ исчезновеніе или появленіе звѣзды поза отдаленнаго земнаго предмета. Если послѣдній находится на расстояніи, по крайней мѣрѣ, 100 м., то для фиксированія глаза въ опредѣленной точкѣ можетъ служить край оконной крестовины и т. п. Нарѣзные дымовыя трубы и т. п. непригодны въ качествѣ покрывающихъ звѣзду предметовъ.

Лучше всего выбирать звѣзды близкія къ экватору, слѣдовательно, быстро движущіяся.

Наблюденія надъ солнцемъ

Два послѣдовательныхъ прохожденія солнца черезъ меридіанъ даютъ, если принять во вниманіе суточное измѣненіе уравненія времени (см. стр. 83 и табл. 26), продолжительность среднихъ сутокъ. Точное знаніе меридіана не требуется; постоянная ошибка въ 1^0 вноситъ въ наблюденную продолжительность сутокъ погрѣшность не болѣе, чѣмъ въ двѣ, приблизительно, секунды.

Для наблюденія можетъ служить неподвижно установленная зрительная труба съ горизонтальной осью вращенія, причемъ наблюдаютъ первый и послѣдній моменты соприкосновенія солнца съ нитянымъ крестомъ.

Можно также, съ точностью до нѣсколькихъ секундъ, наблюдать моментъ, когда середина движущейся тѣни отвѣса или маленькаго изображенія солнца черезъ узкое отверстіе окажется на чертѣ, проведенной на полу или противоположной стѣнѣ.

Разъ найденное абсолютное время можно этими простыми средствами зафиксировать.

35. Ускореніе силы тяжести Длина секунднаго маятника

Ускореніе силы тяжести g есть приращеніе скорости свободно падающаго тѣла въ 1 сек. На уровнѣ моря подъ 45° широты $g = 980.6$ безъ dim, а на высотѣ H метровъ надъ уровнемъ моря

$$g = 980.6 (1 - 0.0026 \cos 2\varphi - 0.0000002 H) \text{ м. сек.}^2$$

Вліяніе высоты такимъ образомъ незначительно. При $H = 0$ формула даетъ для географическихъ широтъ φ :

φ	0^0	10	20	30	40	50	60	70	80	90^0
g	978.1	978.2	978.7	979.3	980.2	981.1	981.9	982.6	983.0	983.2 м. сек.}^2

Мѣстные аномаліи обыкновенно меньше 0.2.

При очень малой амплитудѣ періодъ колебанія математическаго маятника длины l равенъ $\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, маятника любого вида $\pi \sqrt{\frac{K}{D}}$ (см. 1.12); K моментъ инерціи, D «направляющая сила» (1.11а), т. е. $D = a g M$ гдѣ a представляетъ разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія, а M колеблющуюся массу.

Точка маятника, которая качалась бы если бы она была одна только, съ тѣмъ же періодомъ колебанія, называется центромъ качанія.

Определение g помощью маятника. Вообще не легко определить g точно, чем оно вычисляется из приведенной выше формулы. Для упражнения предлагаем описанное ниже измерение помощью нитяного маятника. Хорошо обточенный, возможно тяжелый шарик диаметром около 2 см подвешен на легкой, мягкой нитке, перекинутой через лезвие, причем висит уже столько времени, что длина маятника вполне установилась. Эта длина l считается от лезвия до центра шарика и измеряется, следовательно, как среднее арифметическое из расстояний до верхней и нижней точек шарика, помощью зеркального масштаба (21, 1) или катетометра (22).

Период колебания τ . Если за t сек происходит k колебаний, то $\tau = t/k$. Если длина выбрана между 99 и 100 см, то период близок к секунде, и наблюдения ведут по методу совпадений. Если между двумя последовательными совпадениями колебания маятника с секундным маятником прошло n сек, то

$$\tau = \frac{t}{n} \quad \text{или} \quad \tau = \frac{t}{n-1}$$

смотря по тому, отстает ли маятник от часов или обгоняет их. Совпадение наблюдают глазом или по слуху, относя его к повороту маятника или прохождению им среднего положения.

Поправки к наблюдаемому периоду колебания τ

1) Амплитуда, α . Для α достаточно, по большей части, взять среднее из начальной и конечной амплитуд. Согласно с формулой № 28, наблюдаемый период колебания следует разделить на $1 + \frac{1}{4}\sin^2 \alpha$. Ввиду малости поправки можно вместо этого (формула 4, стр. 27) вычесть из τ величину $\tau \cdot \frac{1}{4}\sin^2 \alpha$. Смотри табл. 15.

2) Момент инерции шара. Шар радиуса r колеблется медленнее, чем колебалась бы материальная точка с той же массой. Поправка $= -\tau \cdot \frac{1}{2}r^2/l^2$.

3) Нить. Соколеблющаяся нить уменьшает период колебания шара. Поправка $= +\tau \cdot \frac{\mu}{m}$, где μ и m массы нити и шара.

Доказательство к 2 и 3. Период колебания математического маятника длины l был бы $\tau_0 = 2\pi \sqrt{l/g}$, для идеального маятника, с моментом инерции K (29) и направляющей силой D (см. выше и стр. 79) имеем

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{K}{D}} = 2\pi \sqrt{\frac{I^2 m + \frac{1}{2} m r^2}{g(lm + \frac{1}{2} l \mu)}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \sqrt{\frac{1 + \frac{r^2}{2l^2} \frac{\mu}{m}}{1 + \frac{\mu}{2m}}}$$

Искомый период колебания математического маятника с невесомой нитью

равенъ поэтому τ , умноженному на $\sqrt{\frac{1 + \frac{1}{2} \frac{m}{M}}{1 + \frac{1}{2} \frac{m}{M} \frac{r^2}{R^2}}}$ или, по формулѣ 8 стр. 27, на $\sqrt{1 - \frac{3}{2} \frac{r^2}{R^2} + \frac{1}{2} \frac{m}{M}}$, последнее же выражение, по формулѣ 3 стр. 27, равно $1 - \frac{3}{4} \frac{r^2}{R^2} + \frac{1}{4} \frac{m}{M}$, что и требовалось доказать.

4) Потеря вѣса въ воздухѣ. Вѣсъ шара въ пустотѣ былъ бы въ $1 + \lambda$ больше, гдѣ λ и κ плотности воздуха (18) и шарика (табл. 2). Поправка періода колебанія $\tau \cdot \frac{1}{2} \lambda \kappa$, среднее.

5) Неоднородность шара. Подвѣсиваютъ шарикъ, перевернувъ его нижнимъ полушаріемъ вверхъ, снова наблюдаютъ и берутъ среднее.

Обозначимъ исправленный такимъ образомъ періодъ колебанія черезъ τ_0 ; тогда $g = \pi^2 / \tau_0^2$. Длина l секунднаго маятника была бы $l_g = l / \tau_0^2$.

Оборотный маятникъ. Въ немъ двѣ оси подвѣса. Если постановкой или измѣненіемъ распредѣленія массъ онъ подрегулированъ такъ, что для обѣихъ періодъ колебанія τ остается одинъ и тотъ же, то (см. стр. 86, 87), опять $g = \pi^2 / \tau^2$, гдѣ l разстояние между ними.

ДАВЛЕНИЕ

36. Измѣреніе давленія. Манометръ

Съ измѣреніями давленія имѣютъ тѣло преимущественно въ жидкостяхъ и газахъ. Величина давленія представляется силой, дѣйствующей перпендикулярно на единицу площади. Для точнаго измѣренія служитъ обыкновенно высота жидкости.

Жидкостный манометръ. Столбъ, высота котораго h сантиметровъ и удѣльный вѣсъ γ , производитъ давленіе $h\gamma$ г-вѣсъ см^2 или въ абсолютной мѣрѣ $gh\gamma$ дина см^2 ; g ускореніе силы тяжести въ см. сек^2 ; подъ 45° широты $g = 980.6$ (см. 35).

Изъ жидкостей чаще всего употребляются ртуть и вода, также глицеринъ ($\gamma = 1.26$). Давленіе, производимое 760 мм ртуті при 0° , строго говоря, подъ 45° широты, называется атмосферой. Последняя соответствуетъ такимъ образомъ давленію въ $76.13596 = 1033.3$ г-вѣсъ см^2 , или $980.6 \cdot 76.13596 = 1013200$ дина см^2 , для широты 50° годится число 1013800.

Изъ наблюденной высоты h жидкости удѣльнаго вѣса γ можно получить высоту h' другой жидкости γ' , которая производила бы то же давленіе, по формулѣ $h = h' \gamma'$. Высота ртуті h , измѣренная при температурѣ t , приводится къ t' умноженіемъ на факторъ $1 + 0.000182(t' - t)$, равный здѣсь $\gamma = \gamma'$; см. стр. 72.

Отчетъ. Проектируютъ столбъ жидкости на поставленный сзади масштабъ или глазомъ, устранивъ параллаксъ зеркаломъ, или съ помощью параллельно перемѣняемой зрительной трубы; или измѣряютъ катетометромъ (22). Отчитываютъ всегда горизонтальную касательную къ мениску, слѣдовательно, на поверхности ртуті — высшее мѣсто, другихъ жидкостей — низшее. Часто бываетъ трудно различить вершину мениска; для облегченія можетъ служить стальное остріе, помѣщенное у самой поверхности ртуті, въ этомъ случаѣ наводятъ на средину между нимъ и его зеркальнымъ изображеніемъ.

Поправка на капиллярность. Если трубка не настолько широка, чтобы средняя часть поверхности была плоской, то капил-

лярное давление, обусловленное кривизной поверхности (58), сказывается: наблюденная вершина мениска лежит при выпуклой поверхности ниже, при вогнутой выше, чѣмъ слѣдуетъ. Поправка на это капиллярное пониженіе или повышеніе возрастаетъ съ уменьшеніемъ ширины трубки, но вслѣдствіе измѣняемости краевого угла не можетъ быть представлена функцией одной только ширины трубки. Измѣривъ, кромѣ ширины трубки у мѣста, гдѣ расположенъ менискъ, высоту его, можно взять величину капиллярной депрессіи изъ табл. 10. При ширинѣ трубки въ 15 мм она можетъ быть, самое большее, 0,1 мм.

Поршневой манометръ. Измѣряютъ давление вѣсомъ P , которымъ нужно нагрузить поршень съ сѣченіемъ Q , чтобы удержать его въ равновѣсіи: давление $= P / Q$.

Газовый манометръ. Давленіе передается запертому въ раздѣленной трубкѣ нѣкоторому количеству газа черезъ жидкость, не абсорбирующую этого газа. Давленіе обратно пропорціонально объему. Въ случаѣ надобности, можно принять въ расчетъ и измѣняющуюся высоту уровня запирающей жидкости. Чувствительность измѣрения уменьшается пропорціонально увеличенію давления. Для большихъ давленій должны быть извѣстны отступленія газа отъ закона Маріотта.

37. Атмосферное давленіе (барометрическая высота)

Точное измѣреніе давленія воздуха помимо его значенія для метеорологич. и проч., необходимо при измѣреніяхъ высоты барометромъ для опредѣленія плотности воздуха, газовой прониц., упругости паровъ, точекъ кипѣнія, при испытаніи термометровъ.

Подъ барометрической высотой понимаютъ высоту столба ртути при 0°, уравновѣшиваемого давленіемъ воздуха. Вслѣдствіе измѣненій въ напряженіи тяжести, достигающихъ $\frac{1}{2}\%$, при точныхъ опредѣленіяхъ добавляютъ, что сила тяжести, дѣйствующая на ртуть, должна быть та же, что подъ 45° широты на уровнѣ моря.

Воздухъ или водяной паръ надъ ртутью уменьшаютъ высоту барометра вслѣдствіе ихъ собственной упругости. Въ отсутствіи воздуха убѣждаются по рѣзкому звуку, съ которымъ ртуть при наклоненіи прибора ударяется о верхъ трубки. Труднѣе констатировать присутствіе паровъ воды, которые лишь при сравнительно большихъ количествахъ отлагаются въ видѣ замѣтнаго слоя на стеклѣ при наклоненіи прибора.

Въ сифонномъ барометрѣ (рис. 2) отчитываютъ оба мениска и берутъ разность ихъ уровней. Въ чашечномъ барометрѣ (рис. 1) устанавливаютъ нуль шкалы, обозначенный стальнымъ или слоновой кости остриемъ, на соприкосновение съ нижней поверхностью ртути, отчетливо наблюдающееся по отраженію, и дѣлають вверху отчетъ.

Отчетъ мениска дѣлается невооруженнымъ глазомъ или посредствомъ установки подвижного индекса, съ примѣненіемъ зеркала для устранения параллакса (21), или съ помощью приспособленія для визирования изъ натянутыхъ нитей, или микроскопомъ. Барометрическую грубку безъ шкалы наблюдаютъ катетометромъ (22). О нонусѣ смотри 21.



Вслѣдствіе тренія ртути постукиваютъ по трубкѣ или наклоняють ее предъ отчетомъ.

Барометрическіе отчеты требуютъ слѣдующихъ поправокъ:

Температура. Ртуть расширяется на каждый 1° С на 0.000182 своего объема. Если поэтому l высота барометра, отчитанная при температурѣ t , то приведенная къ 0° (6, примѣръ №. 2) будетъ

$$h = l - 0.000182 lt,$$

Одновременно съ этимъ приводятъ и шкалу къ ея нормальной температурѣ, за которую принимаютъ также 0° , для чего добавляютъ βlt , гдѣ β коэффициентъ расширенія шкалы (0.000014 для латуни; 0.000008 для стекла). Слѣдовательно, вполнѣ исправленная на температуру барометрическая высота равна

$$b = l - (0.000182 - \beta) lt.$$

Общая поправка равна, слѣдовательно, для латунной шкалы $-0.000163/t$, для стеклянной $0.000174/t$. Численные значенія въ первомъ случаѣ смотри въ табл. 8.

При обыкновенной барометрической высотѣ поправка составляетъ около $\frac{1}{4}$ мм на 1° , и часто бываетъ достаточно вычесть изъ наблюденной высоты $\frac{1}{8} t$ мм.

О капиллярной депрессіи въ чашечномъ барометрѣ см. стр. 90 и табл. 10. Въ случаѣ приведенія къ вѣсу подъ 45^0 географической широты умножаютъ наблюденную подъ широтой ϕ высоту на $g\phi/980.6$; см. 35.

Нормальный барометръ. Ненадежность показаній, обусловленная капиллярной депрессіей, можетъ быть вполне устранена лишь примѣненіемъ широкой (25 мм) трубки, исключающей депрессию.

Надежныя поправки къ прибору для постоянного употребленія получаются лишь путемъ сравненія съ нормальнымъ барометромъ.

Барометръ-анероидъ вывѣряется сравненіемъ со ртутнымъ или снабжается таблицей поправокъ. Ставятъ, напримѣръ, приборъ подъ колоколь воздушнаго насоса, соединенный съ достаточно широкой трубкой со ртутью (открытый манометръ). Выждавъ нѣкоторое время, въ виду упругаго послѣдствія, которое сказывается, какъ ошибка, на измѣреніяхъ анероидомъ быстро мѣняющихся барометрическихъ состояній, замѣчаютъ показаніе анероида, разность уровней въ манометрѣ и наружную барометрическую высоту. Приведя показанія барометра и манометра къ 0° и взявъ ихъ разность, получаютъ барометрическую высоту, соответствующую показанію анероида. Температурная поправка анероида опредѣляется эмпирически.

38. Барометрическое измѣреніе высотъ

Съ возрастаніемъ высоты гидростатическое давленіе воздуха уменьшается. Съ поднятіемъ столбикъ ртути, уравновѣшивающій давленіе воздуха, уменьшается на длину, отстоящую къ разности высотъ такъ, какъ удѣльный вѣсъ воздуха относится къ удѣльному вѣсу ртути, т. е. при обыкновенныхъ условіяхъ, какъ 0.0012 : 13.6 или, приблизительно 1 : 11000 т. е. на каждые 11 м поднятія барометръ падаетъ приблизительно на 1 мм. Такъ какъ удѣльный вѣсъ воздуха слѣдуетъ пропорціоналенъ барометрической высотѣ и, слѣдовательно, уменьшается съ высотой мѣста, то барометрическая высота убываетъ не равномѣрно съ высотой мѣста, а въ геометрической прогрессіи. Слѣдовательно, логарифмъ барометрической высоты долженъ убывать съ возрастаніемъ высоты мѣста равномѣрно, ибо логарифмъ измѣняется равномѣрно, если само число измѣняется въ геометрической прогрессіи $\lg ax = \lg x + \lg a$.

Разность высотъ h двухъ сосѣднихъ станцій, на которыхъ въ одинъ и тотъ же моментъ господствуютъ давленія b_0 и b_1 , пропорціональна $\lg b_0 - \lg b_1$, именно, въ метрахъ:

$$h = 18400^m \cdot (1 + 0.004 t) (\lg b_0 - \lg b_1),$$

примемъ для разности высотъ до 1000 метровъ можно взять болѣе удобное приближенное выраженіе

$$h = 16000^{\text{м}} \cdot (1 + 0.004 t) \cdot (b_0 - b_1) / (b_0 + b_1).$$

t означаетъ среднюю температуру воздушнаго столба.

Въ формулѣ принято, что воздухъ наполовину насыщенъ парами воды, а нѣсь приведенъ къ 45° широты Логариемы обыкновенные, бригговы.

Доказательство При выводѣ точной формулы исходить изъ столь малато измѣненія высоты dH что въ предѣлахъ ея удѣльный вѣсъ воздуха можеть считаться постояннымъ. Онъ равенъ, если b измѣрено въ m и принято, что воздухъ насыщенъ парами воды наполовину (18

$$\frac{0.001295}{1 + 0.004 t} \frac{b}{760}.$$

Плотность ртути при 0° 13.596. Следовательно, отношеніе dH къ измѣненію db барометрической высоты b равно

$$dH / (db) = 13.596 \cdot \frac{0.001295}{1 + 0.004 t} \frac{b}{760}$$

Отсюда для dH получается

$$dH = -7670000^{\text{мм}} \cdot (1 + 0.004 t) \frac{db}{b}$$

Интегрируя въ правой части отъ b до b_1 и допуская при этомъ что, очевидно, не вполнѣ отаѣласть (бесконечности, постоянство температуры, имѣемъ

$$H_1 - H_0 = 7670000^{\text{мм}} (1 + 0.004 t) (\lg \text{nat } b - \lg \text{nat } b_1)$$

Замѣнивъ, наконецъ, натуральные логарифмы бригговыми по формулѣ $\lg \text{nat } b = 2.3026 \lg \text{brigg } b$ и превративъ m въ cm получимъ

$$H_1 - H_0 = h = 18370^{\text{м}} (1 + 0.004 t) (\lg b - \lg b_1)$$

Множитель 18370 слѣдуетъ увеличить еще на 1%, т. е. до 18400, и также пренебрегавшіеся до сихъ поръ уменьшенія вѣса ртути съ высотой. Дѣйствительно, на 1" поднятія уменьшеніе составляетъ $\frac{1}{600000}$ (стр. 80), а такъ какъ давленіе уменьшается на $\frac{1}{10000}$. Следовательно, принятое уменьшеніе съ барометрической высоты болѣе, чѣмъ слѣдуетъ въ $\frac{10000}{600000} = \frac{1}{60}$ (стр. 80).

Приближенная формула для меньшихъ разностей высотъ есть ни что иное какъ предыдущая дифференціальная формула

$$dH = -7670000 (1 + 0.004 t) \frac{db}{b}$$

H есть разность высотъ h , для разности барометрическихъ давленій $b_0 - b_1$ и составляемъ третье давленіе $b = (b_0 + b_1) / 2$

U

превращая м.м въ и, три нуля и, принимая во вниманіе поправку на тяжесть, увеличиваемъ 7979 на $\frac{1}{800}$, круглымъ числомъ, до 8000.

Гипсометръ. Такъ называется легко переносимый приборъ, въ которомъ очень точно опредѣляется температура кипѣнія воды: см. 40 II. Таблица 14 даетъ соотвѣтствующія другъ другу температуры кипѣнія и барометрическія высоты. Такъ какъ 1 м.м барометрической высоты соотвѣтствуетъ, приблизительно, $\frac{1}{25}$ градуса, то при опредѣленіи температуры требуются большія предосторожности (40 II).

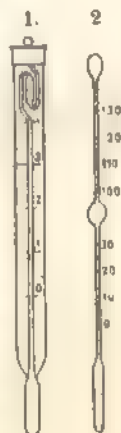
ТЕПЛОТА

39. Формы термометровъ. Общія замѣчанія

По этому поводу достаточно замѣтить здѣсь лишь слѣдующее

Ртутные термометры „безъ воздуха“ могутъ употребляться въ предѣлахъ отъ -39° до $+300^{\circ}$; обыкновенно столбикъ разрывается уже при болѣе низкихъ температурахъ, особенно если въ ртути находятся слѣды воздуха. Для устраненія этого всоляютъ ртуть всю въ шарикъ, охлаждая посредствомъ испаряющагося эфира, охлаждающихъ смѣсей, твердой углекислоты. Если капилляръ оканчивается вверху расширеніемъ (грушей), которое предупреждаетъ также разбиваніе при неосторожномъ, слишкомъ сильномъ нагреваніи, то вводить въ это расширеніе столбикъ, оторванный воздушнымъ пузырькомъ: сюда же вводится и оставшая ртуть путемъ опрокидыванія термометра или, если понадобится, нагреваніемъ. Заставивъ здѣсь ртуть слиться въ одну массу, медленно охлаждають въ вертикальномъ положеніи. Часто расширеніе служитъ также для отдѣленія части ртути, чтобы можно было пользоваться тѣмъ же приборомъ для температуръ, болѣе высокихъ, чѣмъ тѣ, которыя даетъ его шкала. Послѣ этого сравниваютъ для какой-нибудь точки шкалы съ нормальнымъ термометромъ. Однако, если отдѣленъ столбикъ въ n градусовъ, который при повышеніи температуры на 1° расширился бы въ стеклѣ на $0.00016 n$ градусовъ (см. 40 IV), то слѣдуетъ кромѣ того признать, что значеніе одного дѣленія шкалы увеличилось въ отношеніи $1 + 0.00016 n$.

Подъ названіемъ Бекмановскаго термометра употребляется, особенно при опредѣленіяхъ точки замерзанія, лишь 1 съ очень большими дѣленіями. Расширенія служатъ также для того, чтобы можно было имѣть на шкалѣ большія дѣленія, сохраняя возможность контролировать обѣ постоянныя точки или калибровать термометръ. Въ этомъ масштабъ №. 2 примѣнимъ отъ 0 до 30 и отъ 100 до 130. Верхнее расширеніе позволяетъ кромѣ того отдѣлять часть ртути, чтобы можно было передвинуть употребляемые интервалы выше 30° .



Ртутный термометръ безъ воздуха даетъ, благодаря „мертвому ходу“, показанія, менѣе надежныя при пониженіи температуры, чѣмъ при повышеніи. При точныхъ измѣреніяхъ слѣдуетъ непременно постукивать предъ отчетомъ кусочкомъ дерева.

Термометры для высокихъ температуръ имѣются теперь въ продажѣ до 550° ; они изготовлены изъ тугоплавкаго іенскаго стекла №. 59, содержатъ надъ ртутью азотъ или углекислоту.

Для температуръ ниже 39° термометры наполняются алкогелемъ, толуоломъ, нефтянымъ эфиромъ, техническимъ пентаномъ. Длина градуса неодинакова въ различныхъ мѣстахъ шкалы вслѣдствіе неравномѣрнаго расширенія.

Отчитываніе температуры. Болѣе тонкіе отчеты, особенно на термометрахъ съ дѣлениями на самой трубкѣ, лучше всего выполнить съ помощью зрительной трубы: ставить термометръ вертикально — по отвѣсу, оконной рамѣ и т. п. и устанавливають трубу на уровнѣ черты отчитываемаго дѣленія. Болѣе простымъ средствомъ для устранения паралакса служить зеркальная полоска, прижатая сзади къ термометру. Глазъ держать на такой высотѣ, чтобы его зеркальное изображеніе лежало на одномъ уровнѣ съ вершиной ртутнаго мениска. При отчитываніи съ помощью луны искривленіе черточекъ, расположенныхъ на неправильной высотѣ, также представляеть средство для правильной установки глаза.

40. Ртутный термометръ. Точки таянія льда и кипѣнія

Общепринятая шкала температуръ основана на опредѣленіи что идеальныи газъ (водородъ) расширяется на одинаковую величину на каждый градусъ повышенія температуръ, см. также 42. Необходимо кромѣ того имѣть постоянныя точки, которыми служатъ температура таянія льда, принимаемая за 0° , и температура кипѣнія воды при 760 мм. атмосфернаго давленія (37), принимаемая за 100° , по столбчатой шкалѣ. Официально проверенные въ Германіи термометры лучшихъ фабрикъ построены по этой водородной шкалѣ.

Ртутные термометры съ равновеликими дѣлениями даютъ показанія, не вполнѣ одинаковыя съ показаніями газоваго термометра на всемъ протяжении шкалы, см. при этомъ V. Разсмотримъ также всего ртутные термометры сами по себѣ, независимо отъ газоваго. Иенская стекла хорошо излученныя и менѣе подверженныя многими неостаткамъ прежнихъ стеколъ — стѣлаи термометръ точнымъ научнымъ приборомъ.

Мы предположимъ, что термометръ правильно прокалиброванъ, и что при всѣхъ температурахъ ему даютъ установиться. Нуль есть точка, на которой устанавливается ртуть послѣ довольно продолжительнаго, если термо-

метръ былъ предварительно сильно нагрѣтъ, а иногда послѣ очень долгаго пребыванія во льду, отсюда до положенія занимаемаго столбикомъ ртути при достаточно долгомъ кипяченіи, считается 100 градусомъ, причѣмъ предполагается, что шкала между этими постоянными точками раздѣлена на равные объемы.

I. Точка таянія льда

Погружаютъ термометръ въ чистый тающій снѣгъ или чистый (гобытый) мелко наколотый, лучше, скобленный или измельченный на теркѣ, свободный отъ примѣси солей ледъ, смѣшанный съ дистиллированной водой въ жидкую кашицу. Ртутный столбикъ толженъ быть, по возможности, весь погруженъ въ ледъ; термометры въ оправѣ погружаются настолько, чтобы нуль былъ ниже поверхности смѣси, и только на время отчитыванія освобождаются изъ верху, насколько нужно, отъ льда, вынимать термометры, хотя бы немного, не слѣдуетъ, такъ какъ при этомъ притекаетъ теплый воздухъ. Особеннаго вниманія требуетъ возможное обтаиваніе льда вокругъ ртутнаго шарика, могущее повлечь значительныя ошибки. Гораздо меньше будетъ источниковъ ошибокъ, если можно предпринять опредѣленіе въ пространствѣ, температура котораго лишь немного выше 0° .

Точкѣ, на которой устанавливается ртутный столбикъ послѣ того, какъ термометръ принялъ температуру льда, соответствуетъ температура нуль. Сравни однако еще III, 3.

II Точка кипѣнія

Вносятъ термометръ въ пары воды, бурно кипящей въ металлическомъ сосудѣ или въ стеклянномъ, въ которомъ заброшены кусочки металла. Температура водяного пара находится по давленію, подъ которымъ кипитъ вода,

с. по показанію барометра, приведенному согласно 37 съ помощью таблицы 14. Температура кипѣнія t при высотѣ барометра h , между 715 и 775 мм., можетъ быть опредѣлена съ точностью до $\frac{1}{10}$ градуса безъ таблицы по формулѣ

$$t = 100^{\circ} + 0.0375^{\circ} \cdot (h - 760).$$

Шарикъ термометра помѣщается не въ кипящую воду, а нѣсколько выше поверхности. Ртутный столбикъ долженъ, по возможности, весь находиться въ парахъ. Выходъ для пара долженъ быть настолько широкъ, чтобы внутри сосуда не могло образоваться избытка давленія. Пламя не должно охватывать стѣ-



нокъ сосуда, гдѣ онѣ не соприкасаются съ водой. Въ изображенномъ выше сосудѣ ртутный шарикъ можетъ находиться и не у самой поверхности воды. Прогрѣвание термометра, особенно въ оправѣ, требуетъ нѣкотораго времени. Слѣдуетъ повременить съ отчитываніемъ, пока установка станетъ неизмѣнной.

Примѣръ. Приведенная барометрическая высота (37) 742 м. показаніе термометра 99,8. Температура кипѣня (табл. 11) 99,33° (по формулѣ 100 - 0,0375 · 18 = 99,33). Слѣдовательно, температурѣ 100° соответствуетъ дѣленіе $99,8 + 0,67 = 100,47$; поправка = - 0,47°.

III Измѣняемость постоянныхъ точекъ

Вліяніе наклона большинства термометровъ рассчитаны на призмѣнне въ вертикальномъ положеніи. При клинчатыхъ термометрахъ слѣдуетъ обращать на это вниманіе, такъ какъ въ другомъ положеніи они показываютъ нѣсколько выше влѣдствіе уменьшенія внутренняго давления.

2. Постепенное повышеніе постоянныхъ точекъ. Вслѣдствіе медленнаго сжатія дутата стекла постоянныя точки въ нозахъ термометровъ перисъ время перемѣщаются вверхъ. Повышеніе дается со все уменьшающеюся скоростью иногда годами, достигая величины болѣе, чѣмъ 1°, въ новыхъ цѣсныхъ термометренныхъ стеклахъ оно гораздо меньше. Процессъ можетъ быть ускоренъ продолжительнымъ нагреваніемъ, на примѣръ, при температурѣ кипѣня.

3. Депрессія послѣ нагреванія. Такъ какъ расширеніе стекла при каждомъ нагреваніи сопровождается послѣдствіемъ исчезающимъ только со временемъ, то каждое нагреваніе оставляетъ послѣ себя нѣкоторое увеличеніе смѣкта резервуара (послѣдствіе при расширеніи) и вслѣдствіе этого болѣе низкую установку ртутн. „депрессію нулевой точки“, зависящую отъ сорта стекла, степени и продолжительности нагреванія. Депрессія со временемъ нѣмаетъ сначала быстрое, затѣмъ медленнѣе и, если нагреваніе было продолжительно и сильно, можетъ быть еще замѣтной спустя недѣлю. Чѣмъ ниже температура, тѣмъ медленнѣе принимаетъ стекло соответствующее окончательное состояніе, при 100° это происходитъ обыкновенно уже довольно быстро.

При точныхъ измѣреніяхъ это непостоянство должно быть принято во вниманіе, не слѣдуетъ, на примѣръ, смѣшивать измѣненіемъ послѣ нагреванія благодаря депрессіи точки таяня льда съ ея постояннымъ положеніемъ. Слѣдуетъ поэтому опредѣлять эту точку раньше точки кипѣня и, если желательно наблюдать депрессию еще разъ скорѣе послѣ нея.

4. Повышеніе влѣдствіе сильнаго нагреванія. Нагреваніе до очень высокой температуры можетъ повлечь за собой постоянное, иногда значительное (до 20°) повышеніе постоянныхъ точекъ влѣдствіе сжатія разнотемпературнаго стекла. Настоятельно совѣтуется болѣе частая провѣрка нулевой точки.

IV. Выставляющійся столбикъ

Въ невозможности ввести термометръ весь въ измѣряемое пространство вѣдётся особенно при высокихъ температурахъ, источникъ весьма значительныхъ ошибокъ.

При нанесении дѣлений на термометръ предполагается, что вся ртуть имѣетъ одну и ту же измѣряемую температуру. Если какъ обыкновенно бываетъ, часть ртутнаго столбика остается внѣ измѣряемаго пространства то при температурахъ, значительно отличающихся отъ окружающей, должно вносить поправку слѣдующимъ образомъ. „Кажущійся коэффициентъ расширения“ ртути въ стеклѣ, т. е. разность между коэффициентами объемнаго расширения обоихъ веществъ, равенъ приблизительно, 0.00016, слѣдовательно къ отчету t необходимо прибавить

$$0.00016 \cdot a (t - t_0),$$

гдѣ a выражена въ градусахъ длины, а t_0 средняя температура выставляющагося столбика. Что касается последней, то приходится обыкновенно довольствоваться приблизительной ошибкой.

Взять напримѣръ небольшой вспомогательный термометръ, если можно, съ длиннымъ резервуаромъ и помѣщать его на половинѣ высоты выставляющагося столбика или же нѣсколько термометровъ на различныхъ высотахъ и судить о температурѣ столбика по показаніямъ этихъ вспомогательныхъ термометровъ.

Другой способъ заключается въ слѣдующемъ. За температуру выставляющагося столбика принимаютъ комнатную температуру, но для длины столбика a , находящейся при этой температурѣ, берутъ не всю выставляющуюся часть столбика, а вычитаютъ изъ нея постоянную величину α , определяемую слѣдующимъ образомъ. Пусть термометръ показываетъ въ теплой комнатѣ постоянной температуры (напримѣръ, въ кипятыльникѣ стр. 97) T градусовъ, если онъ весь погружёнъ, а будучи выдвинутъ на 1 градусъ, показывается черезъ нѣсколько времени только t . Пусть при этомъ t_0 температура воздуха. Тогда

$$\alpha = A - 0.00016 \frac{T - t}{t_0}.$$

Найденное такимъ образомъ α вычитается, слѣдовательно всегда при употреблении этого термометра изъ длины a выставляющагося столбика, поправка вычисляется затѣмъ по первой формулѣ но за t принимается температура воздуха.

V Приведеніе ртутнаго термометра къ газовому

Ртуть расширяется, по сравнению съ совершенными газами, не столько равномерно, а нѣсколько быстрее. То же имѣетъ мѣсто и для стекла, но, смотря по сорту, въ различной степени. Сортъ стекла, который обнаруживалъ бы точно такую же (по абсолютной

величинѣ) неравномѣрность въ объемномъ расширеніи, какъ ртуть, далѣ бы, очевидно, термометръ, показанія котораго согласовались бы съ воздушнымъ термометромъ. Въ дѣйствительности, однако, большинство ртутныхъ термометровъ, если нулевая точка, точка кипѣнія и калибровка вѣрны, показываютъ между 0 и 100 нѣсколько выше, чѣмъ слѣдуетъ, а при болѣе высокихъ температурахъ ведутъ себя различно. При старыхъ неудовлетворительныхъ сортахъ стекла отступленія могутъ достигать 0.5° при 150° , 4° при 250° , 10° при 350° ; см. также 42.

Для правильного самого по себѣ термометра изъ іенскаго стекла № XVI или 59 поправки на газонный термометръ составляютъ

для температуръ	20°	0°	$+20$	40	60	80	100	120	140°
при стеклѣ XVI	$+0.19^{\circ}$	0	-0.9	12	10	06	0	05	-0.9
" "	59	$+0.10^{\circ}$	0	-0.04	-0.03	-0.02	0.00	0	-0.02
для температуръ	160°	180	200	220	240	260	280	300°	
при стеклѣ XVI	-10	-0.06	-0.04	-0.21	-0.47	-0.83	-1.30	-1.91	
" "	59	-0.19	-0.39	-0.67					

(Въ аттестатѣ термометра эта поправка принята уже во вниманіе).

41. Калиброваніе термометра

Термометръ самъ по себѣ вѣренъ, если постоянныя точки — на своихъ мѣстахъ, и объемы, соответствующіе одному дѣленію шкалы, всѣ равны, т. е. если при равенствѣ дѣленій по длинѣ, сѣченіе постоянно. Вслѣдствіе отступленій отъ послѣдняго условія продажные термометры бывають при высокихъ температурахъ иногда очень невѣрны.

Таблица поправокъ составляется на основаніи калиброванія въ соединеніи съ опредѣленнымъ постоянныхъ точекъ указываемымъ ниже способомъ. Для калиброванія служить ртутный столбикъ отдѣленный отъ остальной массы.

О приведеніи вѣрнаго ртутнаго термометра къ газовой шкалѣ см. 40 V.

Отдѣленіе столбика. Держать термометръ, предполагается безвѣдушный, въ перепернутомъ положеніи и сообщаютъ концу его легкій толчекъ въ продольномъ направленіи. Съ термометромъ въ опранѣ слѣдуетъ быть осторожнымъ, чтобы не сломать капилляра, и постараться достигнуть цѣли не толчкомъ, а быстрымъ отрывистымъ встряхиваніемъ. При этомъ или отдѣляется столбикъ или вся ртуть начинать вытекать, оторвавшись отъ стѣнокъ резервуара. Отрываніе происходитъ болѣею частью благодаря приложенію гдѣ-нибудь къ стеклу микроскопическому и воздушному пузырьку, который раздувается при этомъ до болѣе значительныхъ размѣровъ. Если ртуть оторвалась въ шарикъ, то, быстро возвращая термометръ въ прямое положеніе, заставляють образовавшійся тамъ пузырекъ подняться къ устью трубки, что при нѣкоторомъ терпѣніи всегда удается. Тогда столбикъ отрывается въ устьѣ трубки.

Предположимъ, что столбикъ на p , примѣрно, градусовъ длиннѣе, чѣмъ желательно. Нагрѣваютъ шарикъ: ртуть, подымаясь, толкаетъ предъ собой воздушный пузырекъ, отдѣляющій столбикъ. Затѣмъ заставляютъ столбикъ быстро слиться съ остальною ртутью и замѣчаютъ показаніе термометра E въ моментъ слиянія; послѣ того какъ обѣ ртутныя массы пришли въ соприкосновение, воздушный пузырекъ остается прилипшимъ въ точкѣ E къ стѣнѣ капилляра. Наконецъ даютъ термометру медленно охлаждаться и отрываютъ столбикъ, наклоняя и встряхивая, въ тотъ моментъ, когда термометръ показываетъ $E - p$.

Если, наоборотъ, столбикъ на p короче, чѣмъ желательно, то соединяютъ его съ остальною массой, нагрѣваютъ послѣ этого на p и тогда отрываютъ столбикъ желаемой длины.

Послѣ нѣсколькихъ повтореній удается получать столбики произвольной длины съ точностью до долей градуса.

Установка столбика и отчитываніе. Осторожнымъ наклономъ и встряхиваніемъ можно установить одинъ конецъ столбика на любой чертѣ дѣлений. Можно, впрочемъ, удовлетвориться приблизительной установкой и отчитывать десятые градуса на обоихъ концахъ столбика. Дѣлаютъ, по крайней мѣрѣ, два ряда наблюдений.

Для устранения параллакса кладутъ подъ термометръ зеркальную пластинку и держатъ глазъ такъ, чтобы его изображеніе совпадало съ отчитываемой чертой дѣлений; если при этомъ термометръ перпендикуляренъ къ линіи, соединяющей оба глаза, то при отчитываніи нѣтъ надобности закрывать одинъ глазъ.

Наблюденіе и вычисленіе. Калиброваніе можно производить различно. Для обычныхъ цѣлей можно удовлетвориться наблюденіями по слѣдующей схемѣ, пользуясь для шкалы, простирающейся отъ 0 до 100, столбикомъ въ 20° , а при болѣе высокихъ температурахъ, гдѣ и безъ того возможны значительныя ошибки, даже въ 50° , предполагая, что дѣленія сами по себѣ правильны, и что капаль трубки не особенно сильно отступаетъ отъ цилиндрической формы.

Пусть длина a столбика, которымъ калибруютъ, содержится въ 100 цѣлое число разъ, т. е. $n = 100/a$ цѣлое число. Отрываемъ столбикъ длиною, приблизительно, a . Налагаемъ его послѣдовательно на отрѣзки отъ 0 до a , отъ a до $2a$ и т. д. Пусть столбикъ занимаетъ

число дѣлений	$a + \delta_1$	$a + \delta_2$...	$a + \delta_n$	и т. д.
въ промежуткѣ отъ 0 до a	отъ a до $2a$			$(n - 1)a$ до 100	

или: от дѣленія 0 повышение температуры

$$\begin{aligned} \text{до } a & \quad a + n \cdot \delta \\ \text{, } 2a & \quad 2a + 2\delta - \delta_1 - \delta_2 \\ & \quad \vdots \\ \text{, } ma & \quad ma + m\delta - \delta_1 - \delta_2 - \dots - \delta_m. \end{aligned}$$

Выраженія вѣрны отъ черты представляя безъ поправки термометра, если бы 0 дѣленіе было вѣрно, но такъ какъ ему соответствуетъ температура p_0 , то вѣсть нужно отнять еще и p_0 .

Примѣръ Термометръ для высокихъ температуръ долженъ быть прокалиброванъ отъ 50° до 50° , что достаточно для обыкновенныхъ дѣлей съ вѣроятностью, и 100 50 2 Столбикъ значить сдвѣжки

$$\begin{array}{rcl} \text{отъ дѣленія} & 0.0 \text{ до } 50.9 & \delta_1 = +0.9 \\ & 50.0 \text{ , } 100.4 & \delta_2 = 0.4 \\ & 100.1 \text{ , } 150.3 & \delta_3 = 0.2 \\ & 149.8 \text{ , } 199.6 & \delta_4 = 0.2 \text{ и т. д.} \end{array}$$

Пунктъ точка была на дѣленіи 0.6 точка 100° на 99.7 слѣдовательно, $p_0 = +0.6$, $p_1 = -0.3$ и

$$n = 1 \quad n(p_0 - p_1 + \delta_1 + \delta_2) = \frac{1}{2} (+0.6 + 0.3 + 0.9 + 0.4) = +1.1.$$

Слѣдовательно, для дѣленія поправка

$$\begin{array}{rcl} 0 & -0.6 & 0.6 \\ 50 & 1.1 - 0.6 - 0.9 & 0.4 \\ 100 & 2.2 - 0.6 - 0.9 - 0.4 & 0.3 \\ 150 & 3.3 - 0.6 - 0.9 - 0.4 & 0.2 = +1.2 \\ 200 & +1.2 + 1.1 + 0.2 & = +2.5 \text{ и т. д.} \end{array}$$

Вычисленная для 100 поправка есть отчасти возможность проверить правильность вычисленій

Калибровка посредствомъ нѣсколькихъ оторванныхъ столбиковъ Не всегда удается отдѣлить короткий столбикъ такой длины, какъ интервалъ a , въ которомъ слѣдуетъ произвести калибровку. Въ этомъ случаѣ выходить изъ затрудненія, калибруя посредствомъ нѣсколькихъ столбиковъ, длины которыхъ представляютъ различные кратныя a . Напримѣръ, можно калибровать отъ 20° до 20° посредствомъ столбиковъ въ 40° и 60° .

Сравненіе двухъ термометровъ

Большую частію термометры вѣрятся посредствомъ сравненія съ нормальнымъ термометромъ. Оба прибора погружаются въ ванну и при томъ, если температура значительно отличается отъ окружающей, въ ванну большихъ размѣровъ, возможно лучше защищенную, напримѣръ, войлокомъ, отъ потери тепла; шарики термометровъ

должны быть въ непосредственной близости одинъ возлѣ другого. Измѣненіе температуры со временемъ исключаютъ повтореніемъ каждой группы отчетовъ въ обратномъ порядкѣ. Предъ каждымъ отчетомъ помѣшиваютъ. При высокихъ температурахъ рекомендуется, чтобы одинъ наблюдатель производилъ отчеты въ систематическомъ порядкѣ, по часамъ, а другой записывалъ ихъ, постоянно въ то же время помѣшивая.

Схема: терм. А	68 50	68 49	68 47	68 43
" В	67 96	67 94	67 92	
среднее А	68 49	68 48	68 45	
следовательно А	В = + 0 53 + 0 54 + 0 53.			

42. Газовый или воздушный термометръ

Общепринятая теперь шкала температуръ основана на допущеніи что совершенный газъ расширяется въ одинаковомъ степенѣ на каждый градусъ, именно на $1/273$ (между 0°00366 и 0°00367) своего объема при 0° при постоянномъ давленіи. Въ томъ же отношеніи возрастаетъ давленіе газа при постоянномъ объемѣ. На небольшія индивидуальныя разности (коэффициенты расширенія воздуха, кислорода и азота, приблизительно, 0,00367, водорода 0,00366) здѣсь не обращаемъ вниманія.

Слѣдовательно для температуры t °С имѣемъ

$$\text{при постоянномъ давленіи объемъ } v_t = v_0 (1 + \frac{t}{273})$$

$$\text{при постоянномъ объемѣ давленіе } p_t = p_0 (1 + \frac{t}{273})$$

Вмѣсто этого можно также написать

$$\frac{v_t}{v_0} = \frac{273 + t}{273} \quad \text{и} \quad \frac{p_t}{p_0} = \frac{273 + t}{273}$$

Давленіе или объемъ пропорциональны выраженію $273 + t$ (если въ обоихъ случаяхъ одна изъ этихъ величинъ остается неизмѣнною). Это выраженіе, t — температура, считаемая по столбцусиелъ шкалѣ по нѣ отъ точки таянія льда а отъ точки замерзанія на 273 ниже и принятой за нуль называется абсолютной температурой.

Простейшій воздушный термометръ (модель Лавуази) основанъ на наблюденіи измѣненій упругости газа въ измѣненіи температуры при постоянномъ объемѣ. Наполненный сухимъ газомъ (воздухомъ, азотомъ, водородомъ) стеклянный баллонъ, приблизительно, 50 см. емкостью соединенъ капиллярной трубкой съ вертикальной стеклянной трубкой I, въ которой воздухъ ограниченъ поверхностью ртути. Подымая или опуская уровень ртути въ трубкѣ II, соединенной

каучуковой трубкой съ I, можно „установить“ поверхность ртути въ I у мѣтки, находящейся вблизи устья капиллярной трубки. Отношения должны быть выбраны такъ, чтобы даже при самыхъ низкихъ температурахъ давление внутри каучуковой трубки было вездѣ больше атмосфернаго, такъ какъ иначе воздухъ легко можетъ просочиться въ нее. Всѣ опредѣленія h и b высоты ртутнаго столба должны быть приведены къ одной и той же температурѣ, напримѣръ, къ 0° (36).



Градуйровка прибора. Для этого достаточно одновременное опредѣленіе точки таянія льда и барометрическаго давления. Окружаютъ шарикъ таяющимъ льдомъ (40, I), устанавливаютъ ртуть и наблюдаютъ показаніе барометра h_0 и разность высотъ h_0 ртутныхъ менисковъ въ II и I. Давленіе, подъ которымъ взятое количество воздуха занимаетъ при 0° свой нормальный объемъ, равно $h_0 + h_0 = H_0$, гдѣ h_0 отрицательно, если ртуть въ II стоитъ ниже. Отсюда можно вычислить температуру, соответствующую какому другому давлению при этомъ же объемѣ.

Именно, если положить $h + h = H$, гдѣ h новая разность уровней ртути по приведеніи къ тому же объему и h соответствующее показаніе барометра, то измѣряемая температура t равна

$$t = 0.00367 \cdot \frac{H - H_0}{H_0 - 3\beta} \cdot H,$$

гдѣ 3β коэффициентъ расширенія стекла (44, II), входящий сюда въ виду того, что объемъ газа нѣсколько измѣняется вследствие расширенія стекла. Въ среднемъ можно положить $3\beta = 0.000025$.

Дѣйствительство. Если бы объемъ газа остался неизмѣннымъ, то мы имѣли бы согласно изложенному на предыдущей страницѣ ($\alpha = 0.000017$)

$$H = H_0(1 + \alpha t), \text{ откуда } t = \frac{H - H_0}{\alpha H_0}.$$

На самомъ дѣлѣ, однако, объемъ увеличился въ отношеніи $(1 + 3\beta t)$ I, и наблюдавшееся давленіе H во столько же разъ меньше чѣмъ слѣдуетъ. Поэтому имѣемъ

$$H(1 + 3\beta t) = H_0(1 + \alpha t) \text{ или } H - H_0 = t(\alpha H_0 - 3\beta H),$$

откуда и вытекаетъ формула.

Если нельзя пренебречь, какъ здѣсь сдѣлано, „вреднымъ пространствомъ“, т. е. объемомъ v капиллярной трубки до установившейся мѣтки, сравнительно съ объемомъ V баллона, то предыдущее t слѣдуетъ умножить на

$$1 + \frac{v}{V} \frac{H}{H_0} = \frac{1}{0.00367} \frac{1}{t'}$$

гдѣ t' температура v' .

Определение коэффициента расширения газа. Выведенное въ отрывкѣ „Доказательство“ уравнение, будучи рѣшено относительно α , даетъ

$$\alpha = \frac{1}{t} \frac{H - H_0}{H} + 3\beta \frac{H}{H_0}$$

Отсюда можно опредѣлить коэффициентъ расширения газа, которымъ наполненъ термометръ, наблюдая H при известной температурѣ t , напримѣръ, въ парахъ кипящей воды.

43. Электрическое измѣреніе температуры

По сравненію съ ртутнымъ термометромъ электрические методы обладаютъ важными преимуществами, допуская примѣненіе весьма малыхъ массъ съ ничтожною теплоемкостью почти мгновенно принимающихъ измѣряемую температуру, массу любой величины и формы благодаря чему имѣя доступны весьма неограниченныя пространства, кромѣ того возможно измѣрять температуру, какъ отдаленныхъ точекъ такъ и, наоборотъ, среднюю температуру сравнительно большого пространства. Они, наконецъ, пригодны для самыхъ высокихъ и самыхъ низкихъ температуръ, когда другіе способы отказываются служить.

Слѣдуетъ обращать вниманіе на то, что такъ какъ происходя въ термоэлектрическихъ силахъ, мѣняющихся, напримѣръ, между проводниками и полупроводниками и зависящими отъ дугового металла

I. Термоэлементъ

Пользуются электродвижущей силой, возникающей при разности температуръ въ мѣстахъ соприкосновения (спаяхъ) двухъ металловъ. Сплавляютъ двѣ термоэлектрически дѣятельныя проволоки равной длины, для низкихъ температуръ, напримѣръ, желѣзо-нейзидъ-беръ или еще лучше желѣзо-константанъ, для высокихъ температуръ платина-платина съ родіемъ, другіе концы припаиваются къ мѣднымъ проволокамъ. Первый спай помещаютъ въ точку, температуру которой желаютъ опредѣлить, а другіе два спая поддерживаютъ вмѣстѣ при какой-нибудь известной температурѣ (напримѣръ,

во льду при 0°): при этом возникает электродвижущая сила. Ее измеряют, соединяя концы медных проволок с гальванометром.

Для небольших разностей температур можно принять, что сила тока пропорциональна разности температур. Следовательно, для определения любой температуры по соответствующему наблюдению достаточно один раз измерить силу тока при известной разности температур. Берут зеркальный гальванометр (83) с установленным сопротивлением. Хорошо употреблять исключительно медные клеммы.

Для больших разностей составляют эмпирически таблицу, наблюдая отклонения для нескольких температур. По ней строят таблицу, применяя интерполяцию или графический метод.

Элемент платина-платина с ртутью следует защищать от газов пламени.

В настоящее время в продаже имеются элементы с приложенными к ним таблицами, определяющими связь между температурой и электродвижущей силой.

Определение температуры плавления металлов. Вводят подлежащий металл в вид кусочка проволоки 5 мм длины в шпатель термоэлемента. Наблюдают затем термоэлектрическую силу в последний момент перед плавлением, т. е. перед прекращением тока и берут из таблицы соответствующую температуру.

II. Болومتر

Электрическое сопротивление металлов возрастает с температурой. Избыток всего у чистых металлов, особенно у железа, никеля и чистой платины, для которых температурный коэффициент (относительное изменение на 1°) может достигать 0,001. При тонкости и простоте метода электрических измерений этот способ обладает большими преимуществами.

Измерительную проволоку включают вместе с другой такой же проволокой или эквивалентным ей сопротивлением из реостата в мост Витстона или в дифференциальный гальванометр (93 или 92, см. также 96, телефоны).

Предположим, что при известных температурах t_0 и t_1 , например, 0 и 100° , сопротивление оказалось равным w_0 и w_1 , а при искомой температуре t найдено было равным w , тогда в пределах постоянства температурного коэффициента

$$t = t_0 + (t_1 - t_0) \cdot (w - w_0) / (w_1 - w_0).$$

Въ болѣе широкихъ предѣлахъ сопротивление растеть не равномерно съ температурой. Зависимость должна быть тогда определена особо и представлена формулой или кривой; см. 8.

При небольшихъ сопротивленияхъ и слабомъ токъ для температурной ванны можетъ служить чистая вода, если проволока платиновая; надежнѣе непроводящая жидкость (керосинъ). Ванна употребляется, впрочемъ, помимо этого для предупрежденія нагрѣванія токомъ.

Измѣряемое сопротивление можно намотать, напримѣръ, на слюдяную пластинку; подводятся проволоки, вездѣ, гдѣ онѣ нагрѣваются, лучше всего брать изъ того же металла, — только толще.

44. Опредѣленіе термическаго коэффиціента расширенія

Линейнымъ коэффицентомъ расширенія β твердаго тѣла называется удлинненіе единицы его длины, кубическимъ или объемнымъ коэффицентомъ расширенія 3β объемное приращеніе единицы его объема, при повышеніи температуры на 1° . Объемный коэффицентъ расширенія равенъ утроенному линейному дѣйствительно, при всестороннемъ равномерномъ расширеніи, когда всѣ измѣренія увеличиваются въ отношеніи $1 + \beta t$, объемъ возрастаетъ въ отношеніи $(1 + \beta t)^3 = 1 + 3\beta t + 3\beta^2 t^2 + \beta^3 t^3$, но вследствие малости βt послѣдними двумя членами можно пренебречь.

Если тѣло длины l или объема v нагрѣто на t градусовъ, то новыя значенія этихъ величинъ равны, слѣдовательно,

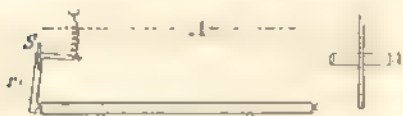
$$L = l(1 + \beta t) \quad V = v(1 + 3\beta t).$$

Коэффицентъ (объемный) расширенія α жидкости быстро возрастаетъ съ повышеніемъ температуры за исключеніемъ ртути. Если при нагрѣваніи съ t'' до t' объемъ возрастаетъ отъ v до v' то $\alpha = (v' - v) / (v' - v) (t' - t)$ называется среднимъ коэффицентомъ расширенія между t' и t .

I. Измѣреніемъ длины

Если стержень длины l при повышеніи температуры на 1° удлиняется на λ , то $\beta = \lambda / lt$.

Небольшія удлиненія опредѣляются обыкновенно по вызываемому ими вращенію контактнаго рычага. Пусть r расстояние точки прикосновенія отъ оси вращенія, φ уголъ вращенія, тогда $\lambda = r \sin \varphi$,



предполагая, что при одной изъ температуръ плечо рычага перпендикулярно къ направленію стержня.

Уголъ вращенія измѣряется по способу зеркала и шкалы (25). Наводягъ зрительную трубу на

основание перпендикуляра, опущеннаго изъ зеркала на шкалу; длина его пусть будетъ A дѣлений шкалы. Если отклонение при измѣненіи температуры равно e дѣлений шкалы, то $e = A \cdot \operatorname{tg} 2\varphi$. Для малыхъ φ можно съ достаточной точностью принять $\sin \varphi = \frac{1}{2} \operatorname{tg} 2\varphi$, следовательно, въ этомъ случаѣ $\lambda = \frac{e}{2} \cdot \frac{1}{A}$. См. 25.

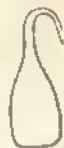
При бѣльшихъ разностяхъ температуръ расширение перестаетъ быть строго имѣ пропорціональнымъ. Тогда длину при температурѣ t полагають равной

$$l = l_0(1 + \beta t + \beta' t^2)$$

и опредѣляютъ оба коэффиціента β и β' изъ трехъ, по крайней мѣрѣ, наблюдений.

II. Взвѣшиваніемъ

Со ртутью. Часто представляется необходимымъ знать коэффиціенты расширения различныхъ сортовъ стекла. Взвѣшиваютъ баллонъ съ оттянутымъ кончикомъ (черт.) при двухъ различныхъ температурахъ, напримѣръ, при 0 и 100°, наполняя его каждый разъ совершенно ртутью (23). Для наполненія погружаютъ кончикъ предварительно нагрѣтаго баллона въ ртуть, по мѣрѣ охлаждения ртуть всасывается. Это повторяють до совершеннаго наполненія, доводя подъ конецъ ртуть до кипѣнія. Наконецъ, даютъ баллону охладиться подъ ртутью до болѣе низкой температуры t . Взвѣшиваніе наполненнаго такимъ образомъ совершенно баллона даетъ вѣсъ нетто p ртути. Послѣ этого нагрѣвають до температуры t' , причемъ вытекаетъ нѣкоторое количество ртути, и опредѣляютъ новый вѣсъ p' . Тогда коэффиціентъ кубическаго расширения стекла вычисляется по формулѣ (доказательство см. на слѣд. стр.):



$$3\beta = 0.000182 \frac{p'}{p} - \frac{1}{t'} \frac{p}{p'}$$

Съ водою. Взвѣшивая при двухъ температурахъ t и t' съ водою, не содержащей воздуха, имѣють

$$3\beta = \frac{1}{t'} \left(\frac{p'}{p} \frac{Q}{Q'} - 1 \right) \quad \text{или} \quad = \frac{1}{t'} \left(\frac{p'}{p} \frac{v'}{v} - 1 \right),$$

вѣсъ плотности Q и Q' или объемы воды v и v' при температурахъ t и t' берутся изъ табл. 4 или 5.

Ртуть расширяется значительно сильнее твердых тел, еще значительно вода при высокой температурѣ: поэтому необходимо опредѣлять температуру возможно точно.

Изъ опредѣлений плотностей. Если извѣстны плотности ρ и ρ' тела при температурахъ t и t' , то коэффициентъ расширения получается изъ формулы

$$\beta = \frac{1}{t' - t} \left(\frac{\rho}{\rho'} - 1 \right)$$

III. Расширеніе жидкостей

1. Предположимъ, что стеклянный сосудъ съ оттянутымъ кончикомъ (см. выше) или одинъ изъ изображенныхъ на стр. 46 вмѣщается при обыкновенной температурѣ t вѣсовое количество жидкости p . Залѣмъ жидкость нагревается въ ваннѣ до болѣе высокой температуры t' и приводится къ прежнему уровню въ сосудѣ посредствомъ, напримѣръ, высасыванія фильтровальной бумагой. Пусть, по охлажденіи вѣсъ всего оказался p' . Если β кубическій коэффициентъ расширенія стекла (см. пред. стр.), то средний коэффициентъ расширенія α жидкости, между t и t' , равенъ

$$\alpha = 3\beta \frac{p}{p'} + \frac{1}{t' - t} \frac{p' - p}{p'}$$

Дѣйствительно, если v и v' означаютъ удѣльные объемы жидкости при t и t' , то $\alpha = (v' - v) / (t' - t)$. Но, очевидно, $p' - p = (1 + 3\beta(t' - t))p$ и следовательно, $v' - v = p' - p = 3\beta(t' - t)p$ откуда легко получается, какъ эта формула, такъ и формула отрывка II.

Методъ вытѣсненія. Вывѣшиваютъ стеклянное тѣло въ жидкости при двухъ температурахъ t и t' ; см. 15 АЗ. Опредѣливъ вѣса вытѣсненной жидкости p и p' , вычисляютъ по той же формулѣ.

3. Дилатометръ. Вводятъ жидкость въ стеклянный сосудъ съ припаянной узкой раздѣленной трубкой, причемъ жидкость должна войти и въ трубку; наблюдаютъ установку столбика при температурахъ t и t' . Если отчитанные объемы соответственно v и v' , то для среднихъ коэффициентовъ расширенія имѣемъ

$$\alpha = 3\beta \frac{v'}{v} + \frac{1}{t' - t} \frac{v' - v}{v}$$

Сосудъ калибруется ртутью, трубка ртутными столбиками, которые залѣмъ извѣшиваются (см. 23 и 24). Вмѣсто калиброванія

можно также изследовать въ пробирѣ сначала жидкость съ известнымъ расширениемъ и вывести отсюда объемныя отношенія.

Кубическiй коэффициентъ расширения средняго турингенскаго стекла равенъ приблизительно 0.00002; лонскихъ стекло № XVI и 54 соотвѣственно 0.000024 и 0.000017.

45. Точка плавленія, точка отвердѣванія

Такъ называется температура при которой тѣло можетъ существовать одновременно въ твердомъ и жидкомъ состоянiи (табл. 11 и 12) - температурѣ при которой начинается отвердѣваніе можетъ лежать нѣсколько ниже точки плавленія. Смѣси нѣсколькихъ веществъ, каковы бѣлизинство, жирова, парафинъ, стекло, не имѣютъ, вообще рѣзко выраженной точки плавленія.

Не слѣдуетъ забывать, что при нугрѣваніи можетъ произойти иногда разложеніе.

Легкоплавкое тѣло можно, напримѣръ, всосать въ расплавленномъ видѣ въ оттянутую стеклянную трубочку и сначала дать ему тамъ затвердѣть. Затѣмъ ввести трубочку вмѣстѣ съ термометромъ въ ванну (стаканъ съ водой, керосиномъ, парафиномъ и т. п.), медленно подогреваемую при размѣшиваніи, и замѣтить температуру, при которой тѣло становится прозрачнымъ или подвижнымъ. Наблюденіе слѣдуетъ повторить.

Надежныя наблюденія надъ ботѣ значительными количествами. Вещество нугрѣвають постепенно вмѣстѣ съ термометромъ. Точку плавленія узнаютъ по постоянству температуры въ теченіе нѣкотораго времени.

Тугоплавкія тѣла можно плавить въ тиглѣ, въ который введенъ сверху или сквозь дно термоэлементъ (43), защищенный тонкой фарфоровою трубкой. Если правильно вести нугрѣваніе, то сила тока во время плавленія остается нѣкоторое время постоянной. О металлическихъ проволокахъ смотри также 43.

Температура отвердѣванія растворовъ

Значеніе этой точки плавленія образуетъ въ опредѣленіи молекулярныхъ вѣсовъ растворенныхъ веществъ. Тѣло въ томъ, что точка отвердѣванія растворителя понижается при раствореніи какъ и нѣтъ вещества пропорціально молекулярной концентрации раствора пока послѣдняя не станетъ слишкомъ большою. Если p число граммовъ, растворенныхъ въ 1000 г. растворителя, M химическій молекулярный вѣсъ раствореннаго вещества то p/M называютъ числомъ граммъ-молекулъ растворенныхъ въ 1000 г. растворителя. Пониженіе t точки отвердѣванія выражается равенствомъ $t = G \cdot c$ или $t = G \cdot p/M$.

Коэффициент G не зависитъ отъ рода раствореннаго вещества, но для каждаго растворителя имѣетъ особое значеніе, наиримѣръ

	для воды	бензола	уксусной кислоты	нитробензола
точка отвердѣванія t	0 00	5 0	170	50
$G \approx$	1·85	5·1	3 8	7·0
				фенола
				390
				7·5

Слѣдовательно, можно по формулѣ (см. выше)

$$M = G \cdot \frac{p}{\tau}$$

опредѣлить молекулярный вѣсъ M по пониженію точки отвердѣванія t . Однако слѣдуетъ замѣтить, что многія тѣла и между ними въ особенности электролиты (соли, щелочи, кислоты) представляютъ исключеніе изъ этого закона. Дѣйствительное пониженіе τ въ водныхъ растворахъ электролитовъ меньше вычисленнаго изъ формулы по химическому молекулярному вѣсу τ_0 . Это объясняютъ допущеніемъ, что такія молекулы въ растворѣ распадаются, что онѣ „диссоциированы“. „Степень диссоциации“ оцѣнивается въ случаѣ расщепленія на двѣ молекулы выраженіемъ $\frac{\tau}{\tau_0} - 1$, а при распадѣ на n молекулъ выраженіемъ $\frac{1}{n-1} \left(\frac{\tau}{\tau_0} - 1 \right)$; см. 19.

Такъ какъ, по предыдущему, дѣло сводится къ опредѣленію пониженія точки замерзанія раствора по сравненію съ растворителемъ и притомъ съ значительной точностью, то опредѣляютъ точки замерзанія растворителя и раствора однимъ и тѣмъ же термометромъ.

Точное измѣреніе требуетъ помимо этого значительныхъ предосторожностей, особенно если растворителемъ служить вода. Точку замерзанія опредѣляютъ при помощи чувствительнаго термометра, постепенно охлаждая растворъ при постоянномъ помѣшиваніи. Обыкновенно температура падаетъ ниже точки замерзанія, не вызывая первое отвердѣванія жидкости, но какъ только начинается выпаденіе твердыхъ частицъ, температура мгновенно повышается до точки замерзанія, въ этотъ моментъ и дѣлаютъ отчетъ. Цѣлесообразно облегчать процессъ затвердѣванія введеніемъ слѣдующаго растворителя въ твердомъ видѣ.

Изображенный здѣсь приборъ Бекмана облегчаетъ измѣреніе. Внутренній цилиндръ содержитъ растворъ, наливаемый черезъ боковой тубусъ, мѣшалку и термометръ, отъ ртутнаго столбика котораго можно отдѣлять нѣкоторую часть соответственно точкѣ замерзанія уногребленнаго растворителя (39). Пониженіе считается отъ поло-

жения ртутнаго столбика въ замерзающемъ чистомъ растворителѣ. Внутренній цилиндръ вставленъ въ другой, болѣе широкій, окружаемый охлаждающей смѣсью и т. п., и такимъ образомъ отдѣленъ отъ послѣдней слоемъ воздуха. Температура охлаждающей смѣси должна быть не слишкомъ низкой (3°) по сравненію съ температурой отвердѣванія, такъ какъ въ противномъ случаѣ найденная температура окажется, вообще, слишкомъ низкой, а если образуется ледяной цилиндръ на стѣнкахъ, слишкомъ высокой.

Цилиндръ наполняютъ отвѣшеннымъ количествомъ растворителя (примѣрно, 10 г.) и нѣсколько разъ определяютъ по даннымъ выше указаній его точку замерзанія. Точно такъ же находятъ пониженную точку замерзанія, введя черезъ боковой зубецъ отвѣшенное количество растворяемаго вещества. Работаютъ съ понижениями въ нѣсколько десятыхъ градуса, прибавляя, слѣдовательно, отъ $\frac{1}{1000}$ до $\frac{2}{1000}$ граммъ-молекулы къ 10 г. растворителя.

Вымерзаніе (выпаденіе кристалловъ) растворителя повышаетъ концентрацію раствора, поэтому предшествующее замерзанію пересыханіе не должно быть слишкомъ значительнымъ, а вымерзаніе продолжительнымъ, въ противномъ случаѣ войдутъ поправки.



46 Точка кипѣнія жидкости

Точкой кипѣнія называется температура, при которой жидкость кипитъ въ открытомъ атмосферномъ давленіи въ 760 мм ртутнаго столба (или, что то же, температуры, при которой упругость ея насыщеннаго пара равна 760 мм).

Образованіе пара происходитъ обыкновенно у стѣнокъ не только изъ-за того, что онѣ прежде всего обыкновенно нагреваются, но и потому, также, что образованіе пузырьковъ внутри жидкости затрудняется въ стѣнкахъ, тогда какъ къ стѣнкамъ обыкновенно прилипаютъ слѣды пыли, нѣздующи стѣны. Съ теченіемъ времени соприкосновеніе между стѣнками жидкости увеличивается, и происходитъ „замѣщеніе кипѣнія“ (т. е. образование новыхъ точекъ кипѣнія) иногда значительное обилие при продолжительномъ кипяченіи. Металлическія стѣнки не такъ опасны въ этомъ отношеніи, какъ стеклянныя.

При измѣреніи слѣдуетъ поддерживать умѣренное, равномерное кипѣніе, регулируя пламя горѣлки или температуру ванны, стараясь, по возможности, избѣгнуть какъ охлажденія, такъ и, въ особенности, перегрѣванія стѣнокъ, не смоченныхъ жидкостью, причемъ въ течение нѣкотораго времени можно препятствовать перегрѣванію жидкости, набросавъ кусочковъ платиновой жести или вдавливъ въ дно сосуда



платиновую проволоку. Термометръ помѣщается не въ жидкости, а надъ нею, у самой поверхности; онъ покрывается пленкой жидкости и показываетъ тогда истинную температуру кипѣнія (въ растворахъ, наоборотъ, термометръ погружается въ самую жидкость; см. ниже).

() поправкѣ на выступающій столбикъ см 40 IV.

Опредѣливъ точку кипѣнія при случайной высотѣ барометра h (37), необходимо привести ее къ 760 мм.

Если нѣтъ уже таблица измѣненій точки кипѣнія съ давленіемъ для данной жидкости или близкой къ ней смѣси, то исправляютъ по ней. Въ противномъ случаѣ ограничиваются вѣроятной поправкой, пользуясь тѣмъ обстоятельствомъ, что температура кипѣнія многихъ жидкостей измѣняется при 760 мм приблизительно одинаково, именно на 0.038 или $\frac{1}{26}$ градуса на 1 мм ртутнаго столба къ наблюдавшейся температурѣ кипѣнія прибавляютъ, слѣдовательно, $\frac{1}{26} \cdot (760 - b)$ градуса.

Смѣси жидкостей изслѣдуются съ холодильникомъ для обратнаго стеканія жидкости.

Точка кипѣнія раствора

Цѣлью изслѣдованія служить обыкновенно опредѣленіе молекулярнаго вѣса раствореннаго тѣла.

Законъ о повышеніи точки кипѣнія раствора При раствореніи вещества не образующаго самостоятельно паровъ упругость пара растворителя уменьшается, и точка кипѣнія, слѣдовательно, повышается. Въ слабыхъ растворахъ измѣненіе пропорціонально молекулярной концентрации. Пусть на 1000 граммовъ растворителя приходится p граммовъ или $p \cdot M$ граммъ молекулъ вещества, если M его молекулярный вѣсъ. Тогда повышение точки кипѣнія τ равно

$$\tau = S \cdot p \quad \text{или} \quad \tau = S \cdot p \cdot M.$$

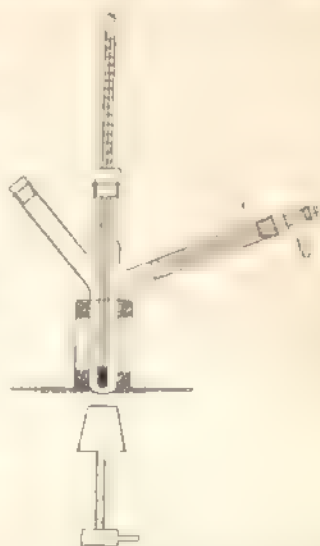
О диссоциации особенно въ водныхъ растворахъ, см. стр 112

Слѣдовательно, по повышенію точки кипѣнія τ можно вычислить молекулярный вѣсъ вещества въ растворѣ:

$$M = S \cdot \frac{p}{\tau}$$

N , постоянное для каждого растворителя, равно для эфира 2·1, алкоголя 1·16, бензола 2·7, хлороформа 3·6, воды 0·52.

Кипятильник Бекмана. Сосуд для кипячения расположен над ~~перфором~~ из листъ асбестового картона, снабженного на нижней стороне проволочной сѣткой. Дно кипятильника защищено отъ непосредственного дѣйствія горѣлки кускомъ приклееннаго жидкимъ стекломъ асбестового картона. Сбоку кипятильникъ защищенъ воздушнымъ чехломъ, закупореннымъ стеклинной ватой, сверху — слюдяной пластинкой. Одна изъ боковыхъ трубокъ содержитъ холодильникъ, черезъ который протекаетъ вода, конденсируя паръ, благодаря чему количество растворителя остается неизмѣннымъ. Вмѣсто воздушнаго чехла употребляется также кольцообразный сосудъ съ кипящимъ растворителемъ.



Самый растворъ готовится такъ. Вводятъ отвѣшенное количество (примѣрно, 10 — 20 г) растворителя и опредѣляютъ сначала его точку кипѣнія. Затѣмъ черезъ другую боковую трубку вводятъ отвѣшенныя количества гѣла посредствомъ пипетки, кусками или прессованъ въ лепешки. Нижняя часть кипятильника содержитъ стеклянный ~~усть~~ и платиновый тетраэдръ, что облегчаетъ кипѣніе и позволяетъ довольствоваться небольшимъ количествомъ жидкости.

Примѣръ. Къ 20 г воды прибавлено 8 г тростниковаго сахара слѣдовательно, $p = 400$ г сахара на 1000 г воды. Точка кипѣнія воды $99\cdot72^\circ$, раствора $101\cdot34^\circ$, слѣдовательно $t = 100\cdot34 - 99\cdot72 = 0\cdot62$. Отсюда молекулярный ~~весъ~~ сахара $M = \frac{8}{p \cdot t} = \frac{8}{0\cdot52 \cdot 400 \cdot 0\cdot62} = 335$ (вмѣсто $C_{12}H_{22}O_{11} = 342$).

47. Опредѣленіе влажности воздуха (гигрометрія)

Для метеорологич. или для физическихъ цѣлей важны слѣдующія гигрометрическія свойства воздуха:

1. Плотность водяного пара въ воздухѣ т. е. количество воды, выраженное въ граммахъ, содержащееся въ 1 см³ воздуха. Такъ какъ это слѣдуетъ очень мало, то его обыкновенно умножаютъ на 10⁶, получая такимъ образомъ содержание воды въ 1 м³ воздуха, выраженное въ граммахъ. Эта величина называется въ метеорологич. абсолютной влажностью воздуха и обозначается черезъ f .

2. Относительная влажность или степень насыщения, т. е. отношеніе дѣйствительнаго содержанія воды къ тому, при которомъ воздухъ былъ бы насыщенъ водою. Эта величина получается изъ абсолютной влаж-

ности f и температуры воздуха, для которой находят по табл. 13 максимум f_0 возможного содержания воды: она равна f/f_0 .

3. Упругость e или давление водяного пара.

Упругость e , выраженная в мм ртутного столба, абсолютная влажность f и температура воздуха t связаны формулами

$$e = 0.945 \cdot (1 + 0.00367t) \cdot f, \quad f = 1.058 \cdot \frac{e}{1 + 0.00367t}.$$

благодаря чему достаточно определить t и e или f .

Действительно, плотность водяного пара (стр. 58) равна 18.2895 · 0.622 следовательно, 1 м³ пара весить (18)

$$10^6 \cdot 0.622 \cdot \frac{0.001293}{1 + 0.00367t} \cdot \frac{e}{760} = \frac{1.058 \cdot e}{1 + 0.00367t}.$$

Для памяти полезно заметить, что (табл. 13) e в мм и f в г/м³ при близкележных равны друг другу. Кроме того их численные значения при средних температурах (от 0 до 30°) в случае насыщения не очень отличаются от такой температуры, выраженной по столбическим шкалам.

1. Точка росы, т. е. температура t при которой воздух был бы насыщен находящимся на нем водяным паром.

1 Гигрометры для точки росы (Даниель, Реньо)

По таблицам 13 находят как соответствующее точке росы t содержание воды f в 1 м³ воздуха так и упругость e водяного пара, насыщенного при температурѣ t , равную действительной упругости пара в атмосфере. Плотность требует поправки, так как воздух вблизи прибора охлажден и вследствие этого уплотнен. Поэтому взятое из таблицы содержание воды, соответствующее температурѣ t , слишком велико и должно быть умножено на

$$\frac{1 + 0.00367t}{1 + 0.00367t} = \frac{273 + t}{273 + t'}$$

гдѣ t температура воздуха.

Приборъ устанавливается такъ, чтобы блестящая поверхность отражала по направлению къ глазу свѣтъ отъ ярко освѣщеннаго неба или свѣчи. Въ гигрометрѣ Даниеля шарикъ, обернутый тряпочкой,



охлаждается вследствие испарения капающего на него эфира, благодаря чему начинается дестилляция изъ другого шарика и обусловленное этимъ его охлаждение. Охлаждаютъ, пока не замѣтятъ, что блестящее кольцо становится матовымъ. Тотчасъ прекращаютъ испарение эфира, температура начинаетъ повышаться, наблюдаютъ показаніе термометра, при

которомъ роса начинаетъ исчезать. Послѣ нѣсколькихъ пробъ легко удается сблизить обѣ эти температуры на разстояние небольшой доли градуса. Среднее изъ нихъ и принимаютъ за точку росы t . Слѣдуетъ за тѣмъ, чтобы пары, выделяемые тѣломъ, дыханіемъ и т. д., не имѣли доступа къ поверхности, на которой осаждаются росу.

Въ гигрометрѣ Реньо стараются подобрать, регулируя истечение воды изъ аспиратора, такую температуру эфира, испаряющагося при продуваніи воздуха, чтобы роса на блестящей поверхности попеременно то появлялась, то исчезала. Эта температура и есть точка росы.



II. Психрометръ Августа

Атмосферная влажность определяется по скорости испарения воды въ воздухѣ, определяемой опять-таки по охлажденію смоченнаго термометра.

Если t температура воздуха (температура сухого термометра),

t' температура влажнаго термометра,

e упругость водяного пара, насыщеннаго при t' , взятая изъ табл. 13,

b высота барометра въ мм,

то по даннымъ метеорологическихъ наблюдений дѣйствительная упругость пара e выражается, смотря по тому, выше или ниже 0° температура t' , по одной изъ формулъ:

$$t' > 0$$

$$t' < 0$$

$$e = e' + 0.00080 b (t - t'),$$

$$e = e' + 0.00064 b (t - t').$$

Опредѣливъ e , вычисляють абсолютную влажность f по формулѣ пункта 3 стр. 116.

Приведенныя выше постоянныя пригодны для наблюдений на открытомъ воздухѣ, при умѣренномъ вѣтрѣ. Если воздухъ спокоенъ, слѣдуетъ вставить большія числа; въ маленькой запертой комнатѣ они могутъ возрасти на 50% . Чтобы при комнатныхъ наблюденияхъ создать условия для примѣненія постоянной 0.00080, двигаютъ психрометръ, проше всего, заставляя его качаться на длинной нити.

Приблизительныя формулы. Благодаря различнымъ источникамъ ошибокъ при употребленіи психрометра, обыкновенно бываетъ достаточно принять для b среднюю барометрическую высоту. Положивъ $b = 750$, имѣемъ

$$e = e' + 0.60 (t - t') \text{ или, ниже нуля, } 0.52 (t - t')$$

Приблизительно можно вычислить также и f по формулѣ

$$f = f' - 0.64(t - t'),$$

гдѣ f' берется изъ табл. 13 по t' .

Примѣръ $t = 19.42^\circ$, $t' = 13.34^\circ$, $b = 739$ ии. Температурѣ t въ табл. 13 соответствуетъ $e' = 11.14$ ии. Отсюда слѣдуетъ отнять $0.00080 \cdot 739 \cdot 6.08 = 3.59$ ии, слѣдовательно, упругость пара $e = 7.85$ ии. По ней вычисляется для 19.40° (стр. 116) $f = \frac{1.058 \cdot 7.85}{1 + 0.00367 \cdot 19.5} = 7.75 \frac{e}{\text{мм}}$. Относительная влажность равна $7.75/16.6 = 0.47$.

III. Волосяной гигрометръ и проч.

Форма (длина, кривизна, степень закручивания) гигроскопическаго тѣла зависитъ отъ влажности воздуха. Положеніе указателя на шкалѣ должно давать относительную влажность въ процентахъ; слѣдовательно, $s = 100 f / f_0$ или $f = \frac{s}{100} f_0$, гдѣ f_0 берется изъ табл. 13 соотвѣстственно температурѣ воздуха. Упругость e вычисляется по f (см. стр. 116).

Для провѣрки точки 100% ставягъ приборъ на нѣкоторое время вмѣстѣ съ водою подъ хорошо притертымъ колоколомъ. Въ гигрометрѣ Коппа смачиваютъ дѣйствующее вещество, образующее вообще прозрачную заднюю стѣнку прибора и надѣваютъ запирающую задвижку. Нулевая точка провѣряется подъ колоколомъ съ концентрированной сѣрной кислотой, другія точки шкалы одновременно наблюдениемъ съ другимъ гигрометромъ, отсчетъ на шкалѣ долженъ давать $100 f / f_0$ (см. выше).

48. Калориметрія. Водяной калориметръ. Удѣльная теплота, способъ смѣшенія

Единица количества теплоты или калорія

За единицу принимаютъ обыкновенно количество теплоты, нагревающее на 1 единицу массы воды (1° или 1°C , граммъ или кило граммъ калорія). Это количество не вполне постоянно, начиная съ 0° , оно сначала немного уменьшается, затѣмъ опять возрастаетъ. Такъ какъ для измереній употребляется водой обыкновенно при комнатной температурѣ, то въ настоящее время за единицу принимаютъ „калорію₁“, т. е. количество теплоты, нагревающее единицу массы воды при 15° на 1° . Обычно употреблялись раньше „калорія“, отъ 0 на 1° , болѣе калорія₂, приблизительно на 0.007.

Заслуживаютъ еще упоминанія:

Средняя калорія, сотая часть количества теплоты нагревающего единицу массу воды отъ 0 до 100° . Этой единицей удобнѣе всего пользоваться для водяныхъ калориметровъ. Она приблизительно равна калоріи₁.

Ледяная калорія, количество теплоты, необходимое для плавления единицы массы льда. Слѣдуетъ принять ее равной 800 калорій.

Механическая калорія. Научной единицей было бы количество теплоты, эквивалентное единицѣ работы. Последняя, въ абсолютной CGS системѣ, равна работѣ, необходимой для поднятія на 1 сантиметръ 1 грамма въ мѣстѣ, гдѣ ускореніе силы тяжести было бы 1 см./сек.^2 . Эта абсолютная механическая калорія равна приблизительно $239 \cdot 10^{-8}$ водныхъ граммъ-калорій. См. I, № 9. Помноживъ на 10^7 , получимъ количество, соответствующее, технической электрической единицѣ работы ваттъ-секундѣ или джоулю (I № 28) слѣдовательно, 1 ваттъ-секунда $= 0.239 \cdot 10^{-8} \text{ кал.}$; $1 \text{ кал.} = 419 \cdot 10^7$ CGS $= 419$ ваттъ секунды. Слѣдовательно, токъ силой 1 амперъ, развивающій въ проводникѣ сопротивленія n омовъ въ теченіе 1 секунды $0.239 \cdot 10^{-8} \text{ кал.}$

Калориметръ

Употребительные описанные ниже калориметры, т. е. приборы для измѣренія количества теплоты, основаны на слѣдующихъ процессахъ: измѣненіе температуры воды, водный калориметръ, плавленіе твердаго тѣла, ледяной калориметръ; выдѣленіе теплоты электрическимъ токомъ, электрический калориметръ.

Удельная теплота

Удельная теплота тѣла есть количество тепла или число калорій, нагрѣвающее единицу его массы (или g , смотря по опредѣленію калоріи) на 1° . Такъ какъ теплоемкость тѣла не вѣдѣтъ постоянна, возрастая, вообще, болѣе или менѣе съ температурой, то слѣдуетъ указывать температуру, для которой число годится. Въ способѣ смѣшенія обыкновенно измѣряютъ количество отданной теплоты между 100° и 15° . Въ этомъ случаѣ выходитъ слѣдовательно, средняя удельная теплота между этими температурами.

Произведение изъ удельной теплоты на атомный или молекулярный вѣсъ тѣла называется его атомной или молекулярной теплотой. Атомная теплота твердыхъ элементовъ приблизительно равна 3 съ большими отступленіями при обыкновенной температурѣ измѣренія, для C, B, Si.

Выполненіе измѣреній съ точностью до $1/1000$ представляется уже затруднительнымъ; для вычисленія достаточны въ большинствѣ случаевъ четырехзначные логарифмы (табл. 30).

I. Твердые тѣла

Тѣло извѣшивается, нагрѣвается до температуры T и погружается въ отвѣшенное количество воды температуры t . Пусть t общая окончательная температура тѣла и воды. Если при томъ

m масса тѣла

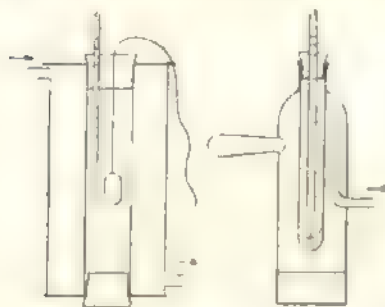
n масса воды + водный эквивалентъ остальныхъ частей калориметра (смотри ниже),

то средняя удѣльная теплота c тѣла между t и T вычисляется по формулѣ

$$c = \frac{w}{m} \cdot \frac{T - t}{T - t}$$

Дѣйствительно, $w(T - t)$ представляет количество тепла, полученное водой, $cm(T - t)$ количество отданное тѣломъ, оба количества тождественны и могутъ быть, слѣдовательно, приравнены другъ другу.

Предварительное нагреваніе тѣла производится обыкновенно въ пространствѣ, нагреваемомъ снаружи кипящей водой или парами



кипящей воды и тщательно защищенномъ отъ обмѣна воздуха (по Реньо, Нейману, Пфаундлеру; см. чертежи), и должно длиться до тѣхъ поръ, пока находящійся тамъ термометръ не станетъ показывать въ теченіе нѣкотораго времени постоянную температуру. Тогда, открывъ пробку, быстро вводятъ нагрѣтое тѣло въ воду калори-

метра, для чего, въ приборѣ перваго типа, отпускаютъ нитку, а приборъ втораго типа перевертываютъ.

Для быстрого обмѣна тепла берутъ тѣло, особенно если оно плохо проводитъ, въ раздробленномъ видѣ, вследствие чего, при употреблении прибора перваго типа, приходится извѣзывать кусочки на нитку или помѣщать въ проводочную корзиночку. О вѣсѣ ея смотри „Водный эквивалентъ“.



Водяной калориметръ представляетъ сосудъ изъ полированного, возможно тонкаго листового металла (латуни, серебра), стоящій на плохо проводящей тепло подставкѣ, напримѣръ на пробковыхъ призмочкахъ или связанныхъ крестъ на крестъ ниткахъ, въ другомъ охраннымъ сосудѣ. Во время наблюдений съ термометромъ, помѣщаютъ и, въ виду испаренія, закрываютъ крышкой.

Если вода не примѣнима, берутъ другую жидкость, удѣльная теплота которой извѣстна, напримѣръ, анилинъ, толуоль (табл. 12).

Работаютъ при небольшихъ измѣненіяхъ температуры.

Водный эквивалент Количество теплоты, нагревающее тело на 1° , называется его водным эквивалентом. Он равен массе тела, помноженной на его удельную теплоту. К массе воды в калориметре следует прибавить водные эквиваленты сосуда, мѣшалки и термометра. Первые два вычисляются (табл. 11).

Водный эквивалент термометра определяется эмпирически. Нагревъ его, хотя бы въ подогрѣтой ртути или даже надъ пламенемъ, до температуры Θ (градусовъ до 30), быстро погружаютъ въ отвѣшенное небольшое количество воды μ , температура которой повышается вслѣдствіе этого съ θ на θ' . Водный эквивалентъ равенъ $\mu (\theta' - \theta) / (\Theta - \theta')$.

Обыкновенно достаточно бываетъ вычислить водный эквивалентъ термометра по объему v погружаемой части термометра, принявъ эквивалентъ равнымъ $0.46 v$. Въ самомъ дѣлѣ, водный эквивалентъ 1 см^3 ртути равенъ $13.6 \cdot 0.033 = 0.45$ (табл. 2 и 12), эквивалентъ 1 см^3 стекла случайно имѣетъ почти ту же величину, именно $2.5 \cdot 0.19 = 0.47$. Объемъ v определяется погруженіемъ въ жидкость въ калиброванной трубкѣ или въ уравновѣшенномъ на вѣсахъ сосудѣ.

Тогда вмѣсто w подставляюгъ въ предыдущую формулу сумму опредѣленныхъ такимъ образомъ разъ навсегда водныхъ эквивалентовъ твердыхъ частей калориметра, сложенную съ вѣсомъ netto взятой воды.

Наконецъ, можетъ войти въ расчетъ и корзинка, нагреваемая вмѣстѣ съ измельченнымъ тѣломъ и вводимая затѣмъ въ калориметръ. Ея водный эквивалентъ w' находится опять-таки, какъ произведение изъ массы на удѣльную теплоту.

Полная формула. Для вычисления удѣльной теплоты по наблюдаемымъ величинамъ m , w , w' , τ , T , t (см. стр 120 и выше) служить формула

$$c = \frac{1}{m} \left(w \frac{T - \tau}{T - t} + w' \right),$$

вытекающая изъ равенства $(cm + w')(T - \tau) = w(\tau - t)$, гдѣ w означаетъ количество воды, сложенное съ вышеупомянутыми водными эквивалентами.

Тепловой обмѣнъ. Вліяніе неустранимаго теплового обмѣна между калориметромъ и окружающимъ пространствомъ исключается по Румфорду тѣмъ, что выбираютъ начальную температуру t настолько ниже комнатной температуры, насколько окончательная тем-

пература t ожидается выше. Ожидаемое повышение температуры определяется приблизительно предварительнымъ опытомъ или, если удѣльная теплота приблизительно извѣстна, вычислениемъ.

Безупречнѣ слѣдующій способъ: предположимъ, что начальная температура t калориметра настолько низка, что окончательная температура t остается все еще нѣсколько ниже температуры окружающаго пространства. Въ теченіе 5—10 мин предъ внесениемъ нагрѣтаго тѣла наблюдаютъ термометръ, примѣрно, каждую минуту и выводятъ изъ его показаній и температуры воздуха повышение температуры калориметра за минуту на градусъ избытка температуры окружающаго пространства. Моментъ внесения тѣла замѣчаютъ по часамъ и наблюдаютъ повышающуюся температуру каждыя 20 секундъ. Отсюда вычисляютъ, какъ указано въ примѣрѣ, повышение температуры калориметра, входящее въ качествѣ поправки. Все время равномерно помѣшиваютъ.

Пояснимъ методъ слѣдующимъ примѣромъ

Водные эквиваленты сосуда и мѣшатка изъ латуни вѣсятъ $\mu = 19$..

Удѣльная теплота латуни $\gamma = 0.093$, слѣдовательно водный эквивалентъ $\mu\gamma = 19 \cdot 0.093 = 1.8$ г.

Термометръ, нагрѣтый до 45° , былъ внесенъ въ 20 г воды въ 16.25, температура повысилась до 17.10° . Слѣдовательно водный эквивалентъ

$20 \cdot (17.1) - 16.25 \cdot 45 = 17.1$ г.

Вѣсъ воды нетто 74.0 г, слѣдовательно, $74.0 + 1.8 + 0.6 = 76.4$ г

Исследуемое тѣло вѣситъ $m = 48.3$ г.

Температура нагрѣтаго тѣла $t' = 38.7^\circ$

Начальная температура воды $t = 12.05^\circ$

Общая окончательная температура $t = 17.16^\circ$

Безъ поправки: $\begin{matrix} 76.4 & 17.16 & 12.05 \\ 48.3 & 38.70 & 17.16 \end{matrix}$ 0.1011

Поправка на тепловой объемъ: температура окружающаго пространства 18.0° .

Периодъ предъ 1 часомъ 25 мин 26 27 28 29 30 мин Среднее

эквивалентъ тѣла 1 калориметръ 11.54 11.65 11.75 11.88 11.96 12.05 11.80

Такимъ образомъ термометръ поднялся за 5 мин на 0.51° , при чемъ средняя температура была на 6.2° ниже окружающаго. Слѣдовательно повышение температуры на градусъ избытка равно $0.51 : (5.62) = 0.0905^\circ$ мин. Въ 30 мин

0.51 нагрѣтое тѣло было опущено въ калориметръ, нагрѣвательный приборъ былъ тотчасъ удаленъ, и при постоянномъ помѣшивании наблюдалось въ

$30'$ $20'$ $30''$ $31'$ $20'$ $40''$ $32'$ $20'$ $40''$ $33'$ Среднее

12.5 14.7 15.3 16.8 17.2 17.3 17.4 17.44 17.45 17.46 16.6

Въ теченіе этихъ трехъ минутъ температура была въ среднемъ 17.14 ниже окружающаго. Слѣдовательно изъ $0.016 : 3.14 = 0.007^\circ$ повышения темпера-

туры вызвана поглощениемъ тепла изъ окружающаго пространства. Наблюденное $t = 17.46^\circ$ слѣдуетъ поэтому исправить на 0.51° , получается t исправленное $= 17.34^\circ$ и отсюда по формулѣ стр. 121

$$c \text{ исправленное} = 0.1027.$$

При вычисленіи средней температуры для поправки первое и послѣднее наблюдены приняты съ половиною вѣсомъ, т. е. при вычисленіи общаго средняго ихъ среднее 14.8 складывается съ остальными посюю величинами. При очень точныхъ опредѣленіяхъ предетивляютъ хоть температуры графически и изъ кривой берутъ температуры помѣры, для $5, 15, 25$ *сек* и т. д.

II. Жидкости

Наливаютъ въ калориметръ отаженное количество m . Удѣльная теплота опредѣляется по повашенію температуры (t) произвольному охлажденіемъ нагрѣтаго тѣла въ жидкости. Для этого служить, напримѣръ, стеклянный шаръ, вмѣщающій нѣсколько сотъ граммовъ ртути, съ узкой трубкой, на которой нанесены мѣтки верхняя (80°) и нижняя (25°). Нагрѣваютъ въ ртутной ваннѣ или осторожно надъ пламенемъ, пока ртуть не подымется выше верхней мѣтки, даютъ затѣмъ охлаждаться и въ моментъ установки на этой мѣткѣ опускаютъ нагрѣватель въ жидкость (температура t). Какъ только при помѣшиваніи ртуть опустится до нижней мѣтки, вынимаютъ нагрѣватель и наблюдаютъ снова температуру (τ) жидкости.

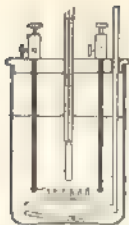
Пусть такой же опытъ, при которомъ тогъ же нагрѣватель былъ опущенъ въ количество w воды въ томъ же сосудѣ, далъ нагрѣвание воды съ t до t' ; тогда, очевидно, если обозначимъ водный эквивалентъ калориметра черезъ w' :

$$c = \frac{1}{m} \left[(w + w') \frac{t' - t}{\tau - t} - w \right]$$

Дѣйствительно, $(cm + w')(\tau - t) = (w + w')(\tau - t')$

49 Удѣльная теплота; электрическій методъ

1 Сравненіе двухъ жидкостей. Двѣ жидкости нагрѣваются въ одинаковыхъ сосудахъ однимъ и тѣмъ же электрическимъ токомъ (80), протекающимъ по равнымъ проводочнымъ сопротивленіямъ изъ металлическаго сплава, проводимость котораго возможно меньше зависитъ отъ температуры (табл. 29), напримѣръ, изъ платины-серебра. Цѣлесообразно подобрать количества жидкостей такъ, чтобы ожидаемыя повышенія температуры были приблизительно одинаковы. Далѣе, берутъ начальныя температуры настолько же приблизительно ниже комнатной, насколько окончательныя будутъ выше.



Благодаря этому исключается до известной степени влияние какъ потери теплоты во время опыта, такъ и измѣненія сопротивленія проволоки съ температурой.

Если количество жидкости m вмѣстѣ съ воднымъ эквивалентомъ w сосуда и термометра нагрѣлось съ t до τ , а другое количество m' вмѣстѣ съ соотвѣствующимъ воднымъ эквивалентомъ w' твердыхъ частей съ t' до τ , то $(cm + w) \cdot (\tau - t) = (c'm' + w') \cdot (\tau - t')$;

слѣдовательно,

$$c = \frac{1}{m} \left[(c'm' + w') \frac{\tau - t'}{\tau - t} - w \right]$$

c' равно 1, если жидкость m' — вода.

Возможная асимметрия исключается проще всего тѣмъ, что жидкости обмѣниваются сосудами, и берется среднее изъ обонхъ полученныхъ результатовъ.

Источники ошибокъ кроются въ томъ, что температура проволоки, а слѣдовательно и нхъ сопротивленіе могутъ быть различны вследствие неодинаковой отдачи тепла, и въ томъ, что часть тока можетъ отѣтвиться отъ проволоки черезъ жидкость. Чистая вода проводить очень плохо; можно не бояться побочнаго замыканія въ случаѣ благородныхъ металловъ, если напряжение въ проволоку остается ниже 2 вольтъ (80 I). Берутъ сопротивления не слишкомъ большія.

II. Абсолютное опредѣленіе. Пропускаютъ съ указанными въ пунктѣ I предосторожностями токъ въ i амперъ (см. 81, 85; особенно ампер-вольтметръ Вестона) черезъ сопротивление r омовъ (90), погруженное въ изслѣдуемую жидкость, взятую въ количествѣ m граммовъ; пусть w водный эквивалентъ сосуда, включая другія твердыя части (стр. 121). Предположимъ, что за t секъ температура поднялась на t . Пусть искома удѣльная теплота c . Тогда $(cm + w)t = 0.239 i^2 r t$; см. I, №. 28 и 112. Слѣдовательно,

$$c = 0.239 \frac{i^2 r t}{mt} - \frac{w}{m}.$$

50. Удѣльная теплота; ледяной калориметръ Бунзена

Для превращенія одного грамма льда при 0° въ воду при 0° требуется 80.0 кал.₁₅ (теплота плавленія льда).

Объемъ 1 г. льда 1.0908 см.³, объемъ 1 г. воды при 0° 1.0001 см.³. Если объемъ уменьшился на 1 см.³ то, слѣдовательно, растаяло количество льда 1.0.0907 = 11.03 %

Пусть вслѣдствие того, что m граммовъ тѣла, охладившись съ t до 0^0 , отдали свою теплоту льду при 0^0 , произошло уменьшение объема на v см³, тогда по предыдущему удѣльная теплота тѣла равна

$$c = \frac{v \cdot 11.03.800}{m \cdot t} = \frac{v \cdot 882}{m \cdot t}.$$

Калориметръ Бунзена состоитъ изъ стеклянныхъ частей съ наклеенной желѣзной насадкой d . Части b , c , d и раздѣленная трубка e наполнены, начиная отъ пунктирной линіи β , ртутью. Надъ нею въ b находится прокипяченная вода; ледъ въ ней образуется предъ опытомъ при помощи охлаждающей смѣси, введенной въ a .

При употребленіи приборъ окружается чистымъ тающимъ льдомъ или снѣгомъ, раздѣленная трубка e вдвигается настолько, чтобы ртуть стояла достаточно далеко за дѣлениями. Наполнивъ сосудъ a до α водой или какой-нибудь другой жидкостью, не растворяющей изслѣдуемаго тѣла, нагреваютъ послѣднее (чертежъ на стр. 120), бросаютъ его въ a (причемъ комокъ ваты на днѣ пробирки предохраняетъ ее отъ поврежденія) и закрываютъ a пробкой. Ртуть въ e идетъ обратно и занимаетъ определенное положеніе. Если смѣщеніе равно s дѣлениямъ, а объемъ одного дѣленія A , то $v = A \cdot s$.

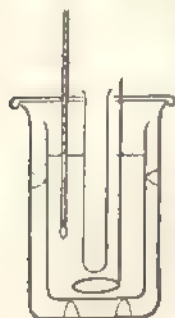
О калиброваніи трубки см. 24.

Можно безъ калиброванія опредѣлить тепловой эквивалентъ K одного дѣленія слѣдующимъ образомъ. Наполняютъ легкій стеклянный шарикъ (отъ 0.5 до 1 см.), оставивъ небольшое пространство для расширенія, оловяннымъ количествомъ воды, увеличиваютъ его въсь небольшимъ количествомъ платины, нагреваютъ до температуры t (стр. 120) и вводятъ въ калориметръ. Пусть m сумма водныхъ эквивалентовъ (см. стр. 121), s послѣдовавшее смѣщеніе на шкалѣ; тогда сокращенію ртутнаго столбика на одно дѣленіе соответствуетъ количество теплоты $K = m \cdot t \cdot c$. Если теперь тѣло въ m граммовъ, нагрѣтое до температуры t охладившись, вызвало смѣщеніе на s дѣленій шкалы, то его удѣльная теплота $c = \frac{K}{m \cdot t \cdot s}$.



51. Другія калориметрическія измѣренія

Термохимическія измѣренія Для изученія тепловыхъ явленій при химическихъ процессахъ часто бываетъ удобнѣе ледяной калориметръ, въ которомъ даютъ произойти химической реакціи между охлажденными предварительно до 0° тѣлами. Проще слѣдующій приборъ. Тонкостѣнный стаканъ, содержащій около литра воды, стоитъ на пробочныхъ призмочкахъ внутри другого болѣе широкаго стакана. Для уменьшенія объёма теплоты лученспусканіемъ плѣсообразно слегка посеребрить обращенныя другъ къ другу поверхности стакановъ.



Черезъ деревянную крышку проходитъ чувствительный термометръ, мѣшалка и тонкостѣнная пробирка, въ которой происходитъ реакція. Если хотѣть измѣрить теплоту растворенія жидкаго или твердаго тѣла, вводятъ вещество, твердое въ видѣ тонкаго порошка, въ пробирку. Выждавъ, пока температура вещества сравняется съ температурой калориметра, пробиваютъ пробирку и производятъ, помѣшивая, раствореніе. Работаютъ съ небольшими измѣненіями температуры.

Выдѣлившіяся количества тепла вычисляются по измѣненіямъ температуры слѣдующимъ образомъ (см. 481). Пусть c удѣльная теплота жидкости, содержащейся въ количествѣ m въ тонкостѣнномъ стаканѣ, c' удѣльная теплота введеннаго въ количествѣ m' тѣла, w сумма водныхъ эквивалентовъ внутренняго стакана, пробирки, мѣшалки и термометра (стр. 121); предположимъ, что температура поднялась съ t до τ ; тогда выдѣленное количество тепла равно $(cm + c'm + w)(\tau - t)$. И здѣсь, какъ на стр. 122, слѣдуетъ принимать предосторожности и вводить поправки на тепловую обѣмъ съ окружающимъ пространствомъ.

Теплота при абсорбціи газовъ опредѣляется, въ принципѣ, подобно предыдущему, но не въ стаканѣ, а въ стеклянной колбѣ, похожей на спринцовку, черезъ которую газъ вступаетъ въ жидкость. Количество абсорбированнаго газа можетъ быть опредѣлено измѣрениемъ объема или взвѣшиваніемъ склянки до и послѣ опыта на чувствительныхъ вѣсахъ или химическимъ анализомъ.

Теплота плавленія. Количество m расплавленнаго тѣла температуры t вводится въ ледяной калориметръ (50). Пусть точка пла-

вления его t (выше 0°), удѣльнымъ теплота его въ жидкомъ и твердомъ состояніяхъ извѣстна и равна c и c' , количество растаявшаго льда M . Теплота плавленія равна тогда

$$K = 80.0 M m - ct + (c - c')t.$$

Если точка плавленія ниже 0° , можно ввести тѣло въ ледяной калориметръ въ твердомъ видѣ, причемъ оно плавится тамъ, и вычислять затѣмъ подобнымъ же образомъ.

Вмѣсто $80.0 M$ можно вставить $882 v$, гдѣ v означаетъ измѣненіе объема при таяніи льда (50).

Теплота испаренія. Предположимъ, что количество m пара при температурѣ кипѣнія t расплавляетъ при конденсаціи и охлажденіи до 0° количество льда M , удѣльная теплота жидкости равна c . Тогда теплота испаренія вычисляется по формулѣ $\lambda = 80.0 M m - ct$. Ожиженіе пара происходитъ въ змѣевикѣ съ небольшимъ холодильникомъ на концѣ. Измѣреніе подвержено большимъ погрѣшностямъ.

УПРУГОСТЬ И ЗВУКЪ

52. Определе́ніе модуля упругости изъ растяже́нія

Модули упругости см. табл. 16.

Измѣненію формы твердаго тѣла противодѣйствуютъ силы, возрастающія, пока измѣненіе формы остается незначительнымъ, пропорціонально послѣднему.

Модуль или коэффициентъ упругости характеризуетъ упругость материала тѣла, что даетъ для какого-нибудь определеннаго случая отношеніе между упругой силой и величиною деформации. Смотря по роду взаимнаго смѣщенія частей тѣла, различаютъ модули растяжения и крученія. Первый представляетъ силу, возникающую вследствие взаимнаго удаленія параллельныхъ слоевъ. Гнущіе можно свести къ растяженію.

Пусть длина цилиндра (проволоки, стержня) l , площадь поперечнаго сѣченія q , растягивающая сила p производитъ удлиненіе λ , исчезающее по прекращеніи тѣлестной силы. Тогда, если обозначить модуль растяжения черезъ E :

$$\lambda = \frac{1}{E} \frac{l}{q} p \quad \text{или} \quad E = \frac{l}{\lambda} \frac{p}{q}$$

Слѣдовательно, E есть отношеніе натяженія, которому подвергается диаметральный и поперечное сѣченіе съ котораго равна сила p , къ произвольному при этомъ удлиненію — измѣренію, которое нужно было бы прибавить къ проволоцѣ сѣченіемъ q и длиною l сдвинуть, чтобы удовлетворить длину, если бы первоначальное отношеніе между удлиненіемъ и натяженіемъ сохранилось то тѣхъ поръ.

Числа E зависятъ отъ единицъ, которыми измѣряются тѣлестное сѣченіе и вѣсъ.

Обыкновенное техническое стрѣтеніе. Обыкновенно выражаютъ поперечное сѣченіе въ мм^2 , растягивающую силу въ кг , единица длины не входитъ — единицей, слѣдовательно, является $\text{кг} / \text{мм}^2$.

Модуль растяженія въ системѣ CGS. Если пость λ , q и l дѣлать единицы массы, а не вѣса то растягивающая сила выражается черезъ $q \cdot p \cdot \text{cm}$ / g ускореніе силы тяжести. Слѣдовательно, единица сдвинута системѣ CGS — динъ², т. е. вѣсъ, который имѣлъ бы 1 g въ мѣстѣ дѣйствительнаго ускоренія равнялась бы 1 $g \cdot \text{cm} / \text{cm}^2$ въ g разъ меньше, а число въ g разъ растяженія въ g разъ больше. Тѣмъ въ томъ случаѣ, когда подгруппа доимаваетъ единицу вѣса. Слѣдовательно, чтобы получить модуль растяженія въ системѣ CGS нужно умножить E , число, выражающее сто въ g -вѣст мм^2 сперва изъ единице $\text{кг} / \text{мм}^2$ затемъ на $g^2 / \text{cm}^2 = 1000$ и къ нему l , $g = 981$, g / cm^2 всего — такимъ образомъ на 98100000 См. 1 № 13.

Частное отъ дѣленія η на плотность представляетъ квадратъ скорости звука въ (см/сек)². См. 53.

Употребительнѣе техническое опредѣленіе

Опредѣленіе модуля растяженія. Прикрѣпляютъ верхній конецъ проволоки или стержня къ стѣнѣ или къ прочной подставкѣ, нагружаютъ, если понадобится, нижній конецъ сперва настолько, чтобы проволока совершенно выпримила, и измѣряютъ ея длину. Добавляютъ къ нижнему концу пригрузокъ въ p кг и опредѣляютъ вызванное имъ удлиненіе λ , выраженное въ тѣхъ же единицахъ, что и l . Если поперечное сѣченіе проволоки, въ м.м.^2 , равно q , то

$$E = \frac{l}{\lambda} \cdot \frac{p \text{ кг-вѣсъ}}{q \text{ м.м.}^2}.$$

Измѣряемое удлиненіе должно оставаться „въ предѣлахъ упругости“, т. е. проволока должна возвращаться послѣ разгрузки къ первоначальной длинѣ, что слѣдуетъ проконтролировать. Можно повысить предѣлъ упругости, подвергая проволоку предъ опытомъ дѣйствию груза, большаго, чѣмъ при измѣреніяхъ. Даже съ твердыми металлами не слѣдуетъ идти при измѣреніяхъ дальше половины той нагрузки, при которой наступаетъ разрывъ. См. табл. 16.

Измѣреніе площади поперечнаго сѣченія 1. Измѣреніемъ диаметра, при малой толщинѣ пользуются чувствительнымъ рычажкомъ или микроскопомъ (21).

2. Взвѣшиваніемъ. Если h м.м. проволоки плотностью κ (15 в табл. 2) вѣситъ m кг, то $q = m / (h\kappa) \text{ м.м.}^2$.

Вслѣдствіе упругаго послѣдствія величина деформации со временемъ болѣе или менѣе—у стали очень мало—возрастаетъ. Обыкновенно подвергаютъ дѣйствию нагрузки возможно короткое время.

Чтобы увеличить точность результата, наблюдаютъ при нѣсколькихъ нагрузкахъ.

Примѣръ. 2 м желѣзной проволоки вѣситъ 1310 кг; плотность 7.61; слѣдовательно, поперечное сѣченіе $q = 1310 / (2000 \cdot 7.61) = 0.0861 \text{ м.м.}^2$

Наблюдалось, въ порядкѣ номеровъ:

№.	Нагрузка	Длина	№.	Нагрузка	Длина	Удлиненіе отъ 2 кг
1.	0.5 кг	913.80 м.м.	2.	2.5 кг	914.89 м.м.	1.09 м.м.
3.	0.6 „	913.85 „	4.	2.6 „	914.96 „	1.11 „
5.	0.7 „	913.90 „	6.	2.7 „	915.00 „	1.10 „
7.	0.8 „	913.98 „	8.	2.8 „	915.09 „	1.11 „

Слѣдовательно, при $p = 2.00$ кг удлиненіе λ равно, въ среднемъ, 1.102 м.м.

Отсюда модуль растяжения

$$E = \frac{l \cdot p}{\lambda \cdot q} = \frac{913 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 0}{1 \cdot 102 \cdot 0 \cdot 0861} = 19260 \frac{\text{кг-вѣсъ}}{\text{мм}^2}$$

Въ системѣ CGS этотъ модуль (стр. 128) равенъ

$$\eta = 19260 \cdot 98100000 = 1890 \cdot 10^9 [\text{см}^{-1} \text{ г} \text{ сек}^{-2}] .$$

53. Опредѣленіе модуля растяженія изъ продольныхъ колебаній

Скорость распространенія u упругой волны сгущенія опредѣляется въ см. сек. выраженіемъ $\sqrt{\eta}$, η если измѣрено въ единицахъ CGS, а если, какъ обыкновенно, модуль измѣренъ въ кг-вѣсъ мм^2 , выраженіемъ $\sqrt{98100000 \cdot E}$. Въ м. сек. число для скорости будетъ въ 100 разъ меньше и равно, слѣдовательно, $\sqrt{9810 \cdot E}$.

Скорость распространения получаютъ изъ длины волны λ и числа колебаній N :

$$u = \lambda N.$$

Если колеблется стержень съ свободными концами съ однимъ ухомъ или зажатая на концахъ проволока съ одной пучностью посрединѣ, то длина ея l равна полуволнѣ. Изъ числа колебаній N тона получается, слѣдовательно, $u = 2lN$.

Заставляютъ укрѣпленный посрединѣ стержень или зажатую у обоихъ концовъ натянутую проволоку длины l издавать ихъ основной тонъ при продольныхъ колебаніяхъ, натирая стержень у одного изъ свободныхъ концовъ, проволоку посрединѣ. Если N высота тона, т. е. число колебаній въ секунду (см. 57 и табл. 17), то по предыдущему модуль растяжения E равенъ

$$E = \frac{u^2}{9810} = \frac{4N^2 l^2}{9810} \frac{\text{кг. вѣсъ}}{\text{мм}^2}$$

Продольныя колебанія возбуждаютъ, натирая шерстяной тряпкой, натертой для металла или дерева каннфолью, а для стекла смоченной водой или спиртомъ.

Высота тона опредѣляется посредствомъ сравненія съ извѣстнымъ камертономъ и т. п. Неточную оцѣнку музыкальных интерваловъ можно свести, пользуясь монохордомъ, къ сравненію длинъ (57, 3). Часто бываетъ затруднительно опредѣлить, къ какой октавѣ относятся очень высокіе тоны. Подобную ошибку легко замѣтить, такъ какъ она увеличиваетъ или уменьшаетъ результатъ, по меньшей мѣрѣ, въ четыре раза.

Относительныя числа колебаній мажорной гаммы

24	27	30	32	36	40	45	48
c	d	e	f	g	a	b	c ₁

простѣйшіе интервалы:

2 : 1	3 : 2	4 : 3	5 : 4	6 : 5
октава	квинта	кварта	б. терція	м. терція
c ₁	g h c ₁	f g a c ₁	e a h	g c ₁
c	c e f	c d e g	c f g	e a

приблизительно, также a/d

f/d.

Объ опредѣленіи высоты тона по пыльнымъ фигурамъ см. 56, о графическомъ опредѣленіи 57.

Примѣръ. Та же жѣсткая проволока (см предыдущій примѣръ) дала при длинѣ $l = 1.361$ м тонъ aia₃. Изъ табл. 17 найдено соответствующее число колебаній $N = 1843$. Полагая удѣльный вѣсъ $\gamma = 7.61$, получаемъ

$$E = \frac{4 \cdot 1843^2 \cdot 1.361^2 \cdot 7.61}{19810} = 19520 \frac{\text{кг-вѣсъ}}{\text{мм}^2}.$$

54 Модуль растяженія изъ гнүтія стержня

Горизонтальный прямоугольный стержень длины l , толщины a и ширины b , все нѣмъ крѣпко зажать однимъ концомъ, при нагрузкѣ въ p кг свободный конецъ опускается на h :

$$h = \frac{4}{E} \frac{l^3}{a^3 b} p \text{ мм.}$$

При кругломъ сѣченіи радиуса r слѣдуетъ вмѣсто $a^3 b$ вставить $3\pi^2 r^4$ или $3q^2 \pi$, если $q = r^2 \pi$ представляеть площадь сѣченія. Заключъ вытекаетъ изъ свойствъ упругихъ телъ, разнородныхъ попытные растяженія верхнихъ и сжатія нижнихъ слоевъ стержня при его искривленіи.

h считается отъ положенія, которое занимаетъ стержень, нѣсколько согнутый уже вслѣдствіе собственного вѣса, безъ нагрузки.

Свободно лежащій на двухъ подпоркахъ стержень, нагруженный посрединѣ, испытываетъ такой же прогибъ, какъ и стержень, зажатый, какъ указано выше, но вдвое короче и при нагрузкѣ свободного конца вдвое меньшимъ грузомъ, слѣдовательно, прогибъ въ 16 разъ меньшій, чѣмъ предыдущій.

1. Зажатый стержень. Крѣпко зажимають одинъ конецъ горизонтального стержня и наблюдаютъ установку свободного конца на вертикальномъ масштабѣ (зеркальная шкала, поставленная непосредственно за концомъ стержня, катетометръ). Пусть нагрузка свободного конца въ p кг вызываетъ пониженіе его на h мм. Высота прямоугольнаго сѣченія — a , ширина — b ; длина свободной

части стержня — l , все въ м.м. Тогда модуль растяжения равенъ

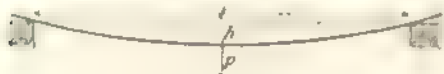
$$E = 4 \frac{l^3}{a^3 b} \frac{p}{h}$$

Трудность заключается въ необходимости достаточно прочнаго закрѣпленія.

Тонкія проволоки. Методъ очень удобенъ для тонкихъ проволокъ, зажимаемыхъ въ тискахъ. Площадь поперечнаго сѣченія q (въ мм²) получается изъ вѣса и плотности, какъ въ 52. Имѣемъ, въ прежнихъ обозначеніяхъ (см. выше):

$$E = \frac{1}{3} \pi \frac{l^3}{h} \frac{1}{q^2} P.$$

II. Свободно лежащій стержень. Затрудненія, вызываемыя необходимостью прочно закрѣплять стержень, можно обойти, поло-



живъ стержень концами на двѣ прочныя подставки. Пусть взаимное

разстояніе ихъ равно l . Если нагрузка p середины стержня вызываетъ въ этомъ мѣстѣ пониженіе h (зеркальная шкала; катетометръ), то

$$E = \frac{1}{3} \frac{l^3}{a^3 b} \frac{p}{h}.$$

Формулы предполагаютъ небольшія, сравнительно съ длиной, пониженія — и здѣсь слѣдуетъ убѣждаться въ возстановленіи первоначальной формы по удаленіи груза. — Маленькія сѣченія опредѣляются взвѣшиваніемъ (стр. 129).

55. Опредѣленіе модуля крученія изъ колебаній

Моментъ вращенія P , дѣйствуя на свободный конешъ зажатого другимъ концомъ цилиндрическаго стержня или проволоки длины l и радіуса r , поворачиваетъ свободный конецъ на уголъ

$$\alpha = \frac{1}{\Phi} \frac{2}{\pi} \frac{l}{r^4} P.$$

Если r , l , P измѣрены въ единицахъ CGS, то Φ означаетъ модуль крученія, выраженный въ тѣхъ же единицахъ; α получается въ абсолютной мѣрѣ, т. е. $\alpha \times 57.30$ даетъ уголъ поворота въ градусахъ (1, 3).

„Направляющая сила“ такой проволоки равна, слѣдовательно (см. 1, 11а), $D = \frac{P}{\alpha} = \frac{\pi}{2} \Phi \cdot \frac{r^4}{l}$. Отсюда продолжительность крутильнаго колебанія t

массы, моментъ инерции которой относительно этой проволоки равенъ K [см²г] (см. 1, 12), опредѣляется въ сѣх равенствомъ $t^2 = \pi^2 \frac{K}{D} = \frac{1}{\Phi} 2\pi K \frac{l}{r^4}$. Слѣдовательно, если t опредѣлено наблюдениемъ то

$$\Phi = 2\pi \frac{K}{r^4} \frac{l}{t^2}.$$

Модуль кручения F , выраженный въ кг-вѣсь мм², равенъ $\frac{1}{98100000} \Phi$ (см. стр. 128).

Можно измѣрить l и r въ мм, а K въ кг мм², тогда получается, если положить $g = 9810$ мм · сек⁻²:

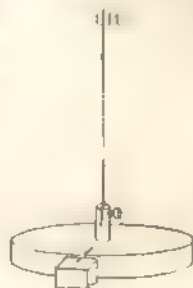
$$F = 2\pi g \frac{K l}{t^2 r^4}.$$

F , въ среднемъ $\approx E$, (52). Во всякомъ случаѣ $E = F \cdot 1 E$.

Къ вертикальной, зажатой вверху проволоки длины l и радиуса r подвѣшиваютъ грузъ, моментъ инерции котораго $= K$ кг мм², приводятъ его въ крутильные колебания и наблюдаютъ периодъ ихъ t въ сѣх (28); тогда остается вычислить модуль кручения F по предыдущей формулѣ или, такъ какъ $2\pi \cdot 9810 = 0.0006405$,

$$F = 0.0006405 \frac{K}{t^2} \frac{l}{r^4} \text{ кг-вѣсь мм}^2.$$

Для цилиндра (диска) радиуса R и массы M моментъ K относительно вертикальной оси $= R^2 M$ (29 I).



Если грузъ произвольной формы колеблется съ периодомъ t , а послѣ того, какъ его моментъ инерции увеличенъ на извѣстную величину K_1 , съ периодомъ t_1 , то имѣетъ мѣсто та же формула, если только вмѣсто K/t^2 аставить $K_1/(t_1^2 - t^2)$. Выводъ и доказательство см. 29 II.

56. Опредѣленіе скорости звука по пыльнымъ фигурамъ (Кундтъ)

Скорость звука u_0 въ сухомъ атмосферномъ воздухѣ при 0° равна 331 м сек, а при температурѣ t °C $= 331 \sqrt{1 + 0.00367 t}$ м сек (см. ниже). Среднюю влажность воздуха при комнатной температурѣ принимаютъ приблизительно во вниманіе, взявъ вмѣсто 0.00367 число 0.004 (18).

Два потока волнъ длины λ , идущихъ навстрѣчу другъ другу, образуютъ стоячія волны съ разстояніемъ между узлами $l = \frac{1}{2} \lambda$. Поэтому число колебаній = скорости распространенія : (24).

I. Скорость звука въ стержняхъ. Крѣпко зажимаютъ посрединѣ горизонтально положенный стержень. Концы E труть про-

должно, другой вдвинуть въ вычищенную и высушенную стеклянную трубу шириной, по крайней мѣрѣ, въ 25 мм, закрытую на другомъ концѣ плотно входящей подвижной пробкой S и содержащую немного ликоподія или стертой въ пыль пробки, или кремневого ангидрида. Толчки, сообщаемые воздуху свободнымъ концомъ, вызываютъ въ трубѣ стоячія воздушныя волны, благодаря которымъ



пыль распределяется въ періодическія фигуры. Передвигая S ,

легко находятъ правильное положеніе, при которомъ движенія пыли наиболѣе энергичны. Можно также наглухо закупорить трубу у S и смѣщать не пробку уже, а всю трубу. — Къ стержню съ небольшимъ поперечнымъ сѣченіемъ приклеиваютъ для усиленія передачи толчковъ воздушному столбу легкій кружокъ, пробочный или картонный.

Если l разстояние между сосѣдними узлами, т. е. полуволна въ воздухѣ, а L длина натираемаго стержня, т. е. полуволна въ стержнѣ (см. 53), то скорость звука въ стержнѣ опредѣляется соотношеніемъ $U : u = L : l$, откуда

$$U = 331 \sqrt{1 + 0.004t} \cdot \frac{L}{l} \frac{u}{\text{сек}}.$$

Модуль растяжения получается тогда изъ формулы (53)

$$E = \frac{U^2 s}{9810} \frac{\text{кг-вѣсъ}}{\text{м.м}^2},$$

гдѣ s плотность стержня.

$N = U : (2L)$ или $n = (2l)$ представляетъ число колебаній тона.

Чтобы получить точную длину полуволны, измѣряютъ разстояние пары (или нѣсколькихъ паръ) узловъ, лежащихъ возможно дальше другъ отъ друга, и дѣлятъ на число лежащихъ между ними полуволнъ.

Примѣръ. Стеклянный стержень длиной изъ 900 мм далъ при температурѣ 17° пыльныя полуволны длиной $l = 62.9$ мм. Скорость звука въ стеклѣ была, слѣдовательно, $331 \sqrt{1 + 0.004 \cdot 17} = 900.62.9 = 4890$ м/сек, а модуль растяжения стекла, плотность котораго была 2.7 (15 В 1 или 3),

$$E = 4890^2 \cdot 2.7 / 9810 = 6580 \text{ кг-вѣсъ м.м}^2.$$

Болѣе длинныя стержни можно зажимать не посрединѣ, а на разстояніяхъ $\frac{1}{4}$ длины отъ концовъ; туть посрединѣ: въ этомъ случаѣ длина волны въ стержнѣ равна всей длинѣ стержня, слѣдовательно, U , вычисленное, какъ выше, нужно раздѣлить на 2.

II. Скорость звука въ газахъ. Образуютъ въ газѣ пыльныя волны посредствомъ источника звука съ извѣстнымъ числомъ колебаній N . По длинѣ полуволны l находятъ скорость распространения $= N \cdot 2l$. См. 57, 4.

Можно также дѣйствовать однимъ и тѣмъ же стержнемъ, по I, на воздухъ и испытываемый газъ; скорости звука относятся, какъ длины пыльных волнъ. Число для воздуха смотри въ началѣ отрывка.

Раздѣливъ на $\sqrt{1 + 0.00367t}$, приводятъ наблюденную при температурѣ t скорость къ 0° .

Теорія Пусть κ плотность, Δ давленіе газа, измѣренное въ единицахъ CGS (дина см^2), дальѣ, c_p теплоемкость газа при постоянномъ давленіи (газъ свободно расширяется при нагреваніи), c_v теплоемкость при постоянномъ объемѣ (газу препятствуютъ расширяться), $k = c_p / c_v$, отношеніе теплоемкостей, которому пропорционально нагреваніе при быстромъ сжатіи. Тогда для скорости распространения n звуковыхъ волнъ имѣетъ мѣсто, по Ляпласу, соотношеніе

$$1) \quad n^2 = k \frac{\Delta}{\kappa} \left(\frac{c_p}{c_v} \right)^2.$$

Если обозначить черезъ h давленіе, измѣренное въ см ртутнаго столба при 0° подъ 50° географической широты, то $\Delta = 13340h$ (См. I, Nr. 8). Если, дальѣ, κ_0 удѣльный вѣсъ при 0° и 76 см ртутнаго столба и t наблюденная температура, то $\kappa = \kappa_0 \frac{h}{76} \frac{1}{1 + \alpha t}$, гдѣ $\alpha = 0.00367$ (стр. 56). Если вставить эти выраженія для Δ и κ въ ур (1), то h выпадаетъ (скорость звука не зависитъ отъ давленія), и получается:

$$\begin{aligned} n^2 &= \frac{k}{\kappa_0} 13340 \frac{h}{76} (1 + \alpha t) = 1013800 \frac{k}{\kappa_0} (1 + \alpha t) \left(\frac{c_p}{c_v} \right)^2 \\ (2) \quad &= 10138 \frac{k}{\kappa_0} (1 + \alpha t) \left(\frac{c_p}{c_v} \right)^2. \end{aligned}$$

Отношеніе теплоемкостей k для обыкновенныхъ постоянныхъ газовъ съ двуатомной молекулою (H_2 , O_2 , N_2 , CO , NO , также воздухъ) приблизительно

1.40, для одноатомныхъ (He , A и т. д., также пары Hg) 1.66 для остальныхъ < 1.40 (CO_2 напримѣръ, 1.30). Для воздуха $k = 1.40$ и $\kappa_0 = 0.001293$; вставивъ это въ уравненіе (2), находимъ данное выше значеніе n .

Пользуясь выраженіемъ (2), можно опредѣлить плотность газа, если извѣстно k , и наоборотъ, отношеніе теплоемкостей при данномъ κ_0 .

57. Число колебаній тона

1. Графически. Чтобы опредѣлить число колебаній, можно укрѣпить звучащее тѣло возлѣ камертона съ извѣстнымъ числомъ



колебаний предъ движущейся закопченной поверхностью (напримѣръ, валъ на винтовой оси), приклеить къ обоимъ легкія гибкія острія (полоски изъ ствола пера) и заставить

чертить синусоидальныя кривыя. Сосчитываютъ рядомъ лежащія волны.

2. Изъ біенія. Камертоны или другіе источники звука, дающіе приблизительно одинъ и тотъ же тонъ или простой интервалъ (октава, квинта, герція), можно сравнить между собой по числу біений, которыя они совместно образуютъ. Каждое біение соответствуетъ упрежденію одного тона на цѣлое колебаніе. Если неизвѣстно, который изъ тоновъ выше, можно одинъ изъ нихъ слегка понизить. Если вслѣдствіе этого біенія замедляются, то этотъ тонъ былъ болѣе высокимъ, и наоборотъ. Тонъ камертона можно понизить болѣе значительно или произвольно мало посредствомъ кусочка каучуковой грубки, смотря по тому, сдвинуть ли онъ ближе къ концу или къ срединѣ, тонъ трубы можно понизить, приближая къ отверстію руку.

3. Монохордомъ. Число колебаній N основного тона мягкой струны длиной l м, натянутой грузомъ P , опредѣляется формулой

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{g}{P}} \cdot P.$$

гдѣ g вѣсъ 1 м струны, выраженный въ тѣхъ же единицахъ, что и P , а p/g его масса.

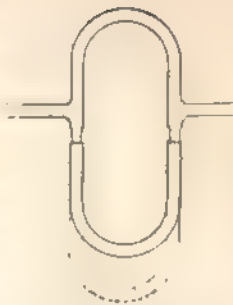
Измѣняя длину или натяженіе, можно, слѣдовательно, получить для цѣлей сравненія любую, вычисляемую по формулѣ высоту тона. Собственная упругость струны нѣсколько увеличиваетъ число колебаній. Подходить здѣсь тонкая мягкая латунная проволока, а еще лучше серебряная. См. также 53, интервалы.

4. Изъ длины волны въ воздухѣ. Если v скорость распространенія, а длина волны тона въ воздухѣ то $N = v/\lambda$. Относительно v см стр 133.

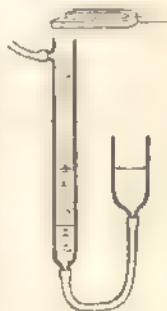
Такимъ образомъ можно опредѣлить высоту тона при продольныхъ колебаніяхъ стержня, напримѣръ, по пыльнымъ фигурамъ (56).

Болѣе слабыя тоны (напримѣръ, камертоновъ) можно изслѣдовать, наблюдая субъективно интерференцію двухъ потоковъ волнъ, слѣдующимъ образомъ (квинке). Звукъ вступаетъ въ отверстіе раз-

вѣтвяющагося дальше канала, одна изъ вѣтвей котораго выдвигная, какъ въ музыкальных трубахъ, вслѣдствіе чего ея длину можно измѣряемымъ образомъ мѣнять. Другой конецъ канала соединяютъ каучуковой трубкой съ ухомъ, другое ухо затыкаютъ ватой. Подыскиваютъ такое положеніе выдвигной вѣтви, при которомъ сила звука наименьшая; продолжая затѣмъ смѣщать, находятъ новое положеніе, при которомъ сила звука снова достигаетъ минимума. Сумма смѣщений обоихъ колѣнь выдвигной трубки даетъ длину волны; дѣйствительно, оба потока волнъ интерферируя взаимно ослабляются всякій разъ, какъ ихъ пути разнятся на нечетное число полуволнъ.



Другой сходный способъ основанъ на интерференціи волнъ, идущихъ непосредственно отъ источника звука, и волнъ отраженныхъ. Приборъ состоитъ изъ вертикальной стеклянной трубки, шириной около 30 мм, съ дѣлениями, имѣющей сверху боковой губусъ съ надѣтой на него каучуковой трубкой. Дномъ трубы, отъ котораго волны отражаются, является поверхность воды, уровень которой можно мѣнять измѣряемымъ образомъ. Наблюдаютъ, какъ раньше, черезъ каучукъ и устанавливаютъ поверхность воды на минимумъ силы звука, между двумя такими положеніями заключена какъ-разъ длина полуволны.



КАПИЛЯРНОСТЬ И ТРЕНИЕ

58. Определение капиллярной постоянной

Капиллярная постоянная (поверхностное натяжение) α жидкости есть вѣсъ жидкости (въ мг), удерживаемой единицей длины (мм) линии соприкосновения поверхности съ совершенно смачиваемой стѣнкой — Поверхность сферической формы радиуса r производитъ на свою вогнутую сторону молекулярное давление $\alpha \cdot 2/r$. Пусть, при другой формѣ, r_1 и r_2 соответственно наибольшій и наименьшій радиусы кривизны въ какой-либо точкѣ поверхности; тогда въ этой точкѣ господствуетъ молекулярное давление $\alpha(1/r_1 + 1/r_2)$ законъ Лапласа.

Умноживъ α , измѣренное въ мг-вѣсъ и мм , на 10 981 1000 = 981, получаютъ выражение этой величины въ единицахъ CGS (см. 1, № 7).

1. Изъ высоты поднятія

Узкая, круглая цилиндрическая трубка тщательно очищается (концентрированной сѣрной кислотой, растворомъ ѣдкой щелочи, чистымъ, безъ жира, алкоголемъ) настолько, чтобы она вполне смачивалась, т. е. чтобы краевой уголъ нулю, споласкивается вслѣдъ за этимъ изслѣдуемой жидкостью и ставится въ нее вертикально. Особенно трудно добиться дѣйствительнаго смачиванія въ случаѣ воды и многихъ водныхъ растворовъ. Предъ отчитываніемъ высоты поднятія капиллярную трубку приподнимають, чтобы менискъ пришелся у мѣста, бывшаго передъ тѣмъ долгое время въ соприкосновеніи съ жидкостью, и быстро дѣлають отчетъ. Если H высота поднятія жидкости, γ ея удѣльный вѣсъ и r внутренний радиусъ трубки въ мм , то капиллярная постоянная

$$\alpha = \frac{1}{2} r H \gamma \text{ мг-вѣсъ/мм.}$$

Доказательство. Окружность внутреннего сѣченія $2\pi r$, поднятая масса $\pi r^2 H \gamma$ слѣдовательно единица длины окружности удерживаетъ вѣсовое количество $\frac{1}{2} r H \gamma$. Или радиусъ кривизны поверхности въ формѣ полушеры — r , слѣдовательно, давленіе (отрицательное) на жидкость обусловленное кривизной ея поверхности, равно $\alpha \cdot 2/r$; оно должно равняться отрицательному гидростатическому давленію $H \gamma$.

H должно быть велико сравнительно съ r . Высоту H слѣдуетъ считать на $\frac{1}{2}r$ выше нижней точки мениска.

Определение радиуса r . Если ртутный столбикъ длиною l мм при температурѣ t вѣситъ m мг, то въ мм (24)

$$r = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} \frac{m}{l} + 0.00018t}{13.60}} \quad \text{или, при } 18^\circ, r = 0.1533 \sqrt{\frac{m}{l}}$$

Важнѣе, главнымъ образомъ, радиусъ у верхняго конца поднятаго столбика жидкости, поэтому измѣряютъ длину ртутнаго столбика въ тотъ моментъ, когда его середина совпадаетъ съ этимъ мѣстомъ.

II. Отрываніемъ на вѣсахъ

Подвѣшиваютъ вертикально на вѣсахъ полоску тонкой листовой платины шириной около 25 мм, платинированной въ нижней части, смачиваютъ нижній край и послѣ этого уравниваютъ. Приближаютъ поверхность жидкости, пока она не коснется нижняго края въ тотъ моментъ, когда вѣсы находятся въ положеніи равновѣсія.

Компенсируютъ поверхностное натяжение, тянущее теперь полосу книзу, добавляя постепенно разновѣсокъ, пока не произойдетъ отрываніе. Если P отрывающій грузъ въ мг и l длина края въ мм, то

$$\alpha = \frac{P}{2l} \frac{\text{мг}}{\text{мм}},$$

Для быстрого измѣренія удобны вѣсы Мора. На рисункѣ стр. 48 подвѣшиваютъ слѣва полоску, справа уравнивающій противовѣсъ. Если рейтера вѣсятъ, какъ обыкновенно, 5 г, 0.5 г, ..., то, пользуясь полоской въ 25 мм ширины, можно отчитывать α прямо, включая и постановку запятой.

III. Изъ длины волнъ на поверхности жидкости

Распространеніе очень короткихъ волнъ на поверхности жидкости происходитъ почти исключительно насчетъ поверхностнаго натяжения. Если λ длина волны, а N число колебаній, то скорость распространения u , или $N\lambda$ опредѣляется соотношеніемъ

$$u^2 - \lambda^2 N^2 = 2\pi g \frac{\alpha}{\lambda},$$

откуда, положивъ $g = 9810$ мм.сек²,

$$\alpha = \frac{1}{2\pi} g \frac{\lambda^3 N^2}{g} = \frac{1}{61600} g \lambda^3 N^2 \frac{\text{мг-вѣсъ}}{\text{мм}}.$$

Приклеивают къ ножкамъ камертона съ извѣстнымъ N (57; табл. 17. Высота тона, примѣрно, между c и c_1) двѣ легкихъ палочки, приводятъ ихъ въ соприкосновение съ поверхностью жидкости и возбуждаютъ камертонъ. Между остріями образуются стоячія волны, λ которыхъ (удвоенное разстояніе между сосѣдними гребнями волнъ) измѣняется въ n -и циркулемъ и масштабомъ

IV. По вѣсу капель

Круглая горизонтальная поверхность радиуса r можетъ удерживать каплю вѣсомъ самое большее $2\pi a$ мг, однако этотъ предѣлъ достигается лишь при особыхъ условіяхъ. Падающія капли бываютъ всегда меньше. Выбравъ r между 2.5 и 3.5 мм, можно положить вѣсъ капли m равнымъ, приблизительно, $0.62 \cdot 2\pi r a$ или $3.9 \cdot ra$.

Выпускаютъ жидкость по каплямъ очень медленно изъ вергикальной толстостѣнной капиллярной трубки, плоско отшлифованной внизу и очень хорошо въ этомъ мѣстѣ смоченной; извѣнчиваютъ отсчитанное количество капель. Если вѣсъ отдѣльной капли m мг, а наружный радиусъ трубки r мм (выбирать между 2.5 и 3.5 мм, а для воды и водныхъ растворовъ даже до 5 мм), то $a = m / (3.9r)$.

Способъ подверженъ, понятно, различнымъ источникамъ ошибки.

59. Определение коэффициента внутренняго трения жидкости по истеченію изъ капиллярной трубки

Вязкость жидкости измѣняется ея коэффициентомъ внутренняго трения η , определение котораго приносится обыкновенно къ основанію закона Пуазейля о теченіи жидкости въ капиллярной трубкѣ. Черезъ такую трубку длины l и радиуса r , или съ поперечнымъ сѣченіемъ q (24), вытекаетъ подъ давленіемъ p за время τ объемъ жидкости

$$v = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \frac{r^4}{l} \cdot p \cdot \tau \quad \text{или} \quad \frac{1}{\eta} = \frac{1}{8\tau} \cdot \frac{q^2}{l} \cdot p \cdot \tau$$

Время измѣряютъ въ сск пространственные величины въ см, давленіе въ г-вѣсъ см² или въ динахъ на см² (1, 7 и 8), η выражается соответственно въ сск г-вѣсъ см² или въ единицахъ CGS, т. е. въ см⁻¹ г-сек⁻¹, числомъ $[\eta]$ въ 981 разъ большимъ.

η сильно уменьшается съ повышеніемъ температуры t . Для воды имѣемъ

$t =$	14°	15	16	17	18	19	20	21	22	23°
$10^6 \eta =$	1196	1162	1132	1103	1075	1049	1023	999	976	954 сск г-вѣсъ см ²
$10^5 [\eta] =$	1173	1140	1110	1082	1055	1029	1004	980	957	936 CGS

Измерение производится проще всего посредством вертикальной капиллярной трубки, к которой сверху припаяна или присоединена посредством каучука груша от 10 до 100 см³ вместимости, считая от мѣтки на верхней шейкѣ груши до нижней; смотри рисунокъ. Нижнимъ концомъ капиллярная трубка входитъ сквозь пробку въ сосудъ съ жидкостью, которую всасываютъ отсюда въ грушу. Затѣмъ даютъ жидкости, заключенной между двумя мѣтками, вытекать подъ собственнымъ давлениемъ и наблюдаютъ время. Объемъ v между мѣтками опредѣляется взвѣшиваніемъ (23). Если сосудъ симметриченъ кверху и книзу, то за высоту h , опредѣляющую давление, принимаютъ среднюю высоту верхняго резервуара надъ среднимъ уровнемъ жидкости въ нижнемъ сосудѣ; поэтому отмѣчаютъ алмазной чертой уровеньъ жидкости въ верхнемъ резервуарѣ, наполненномъ до половины своего объема. Среднее сѣчение q трубки опредѣляютъ взвѣшиваніемъ со ртутью (24 и стр. 138).



Такъ какъ давление $p = h\sigma$ г-вѣсь $\frac{g}{cm^2}$ или $= 981 h \text{ гмилл/см}^2$, то изъ закона Пуазейля слѣдуетъ

$$\eta = \frac{1}{8\pi} \frac{q^2}{rl} h \sigma \tau \text{ г-вѣсь } \frac{сек}{cm^2} \text{ или } [\eta] = \frac{981}{8\pi} \frac{q^2}{rl} h \sigma \cdot \tau \text{ CGS.}$$

Чтобы законъ Пуазейля былъ примѣнимъ, вытекание должно происходить достаточно медленно.

+ 1^о температуры уменьшаетъ вязкость на нѣсколько процентовъ. Конструкция изображеннаго на рисунокѣ прибора позволяетъ ставить его въ ванну. Черезъ хорошо пригнанную каучуковую пробку трубки, капиллярная и воздухоотводная, входятъ въ запасной сосудъ.

Примѣръ Объемъ $v = 10.31 \text{ см}^3$, длина трубки $l = 30.14 \text{ см}$, 26.43 см трубки заключаютъ 1.092 г Hg при 18° ; слѣдовательно, сѣчение

$$q = \frac{1.092}{26.43 \cdot 13.596 (1 - 0.00018 \cdot 18)} = 0.003049 \text{ см}^2.$$

Вода при 18.5° , высота $h = 35.26 \text{ см}$. Время вытекания $\tau = 253.5 \text{ сек}$. Слѣдовательно,

$$\eta = \frac{1}{8\pi} \frac{0.003049^2}{30.14 \cdot 10.31} \cdot 9985 \cdot 253.5 = 0.01062 \text{ г-вѣсь } \frac{сек \cdot \text{см}^2}{cm^2},$$

$$[\eta] = 0.01042 [\text{гм}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}].$$

Относительное опредѣленіе. Пользуются предыдущимъ или подобнымъ приспособленіемъ, но, не вымѣряя его, сравниваютъ при одинаковыхъ условіяхъ времена вытекания изслѣдуемой жидкости и какой-нибудь извѣстной (воды, см. выше). Если t и t' времена, s и s' удѣльные вѣса, то коэффиціенты тренія находятся въ соотношеніи

$$\eta : \eta' = st : s't'.$$

СВѢТЪ

60. Показатель преломленія призмы. Спектрометръ

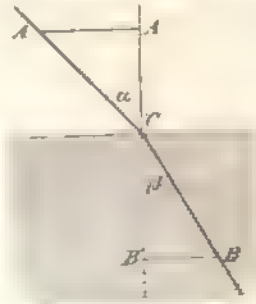
При переходѣ свѣтового луча изъ одного тѣла („среды“) I въ другое II отношеніе синуса угла паденія α къ синусу угла преломленія β сохраняетъ постоянную величину и называется показателемъ преломленія n второго тѣла относительно перваго такимъ образомъ $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$.

Геометрически $\sin \alpha = AA' / AC$ и $\sin \beta = BB' / BC$ или, если $AC = BC = l$, $\sin \alpha = AA' / l$ и $\sin \beta = BB' / l$. Синусы и логарифмы см. табл. 30, 31.

Число n представляетъ въ то же время отношеніе скоростей свѣта или, что сводится къ тому же, длинъ волнъ въ первомъ и второмъ тѣлахъ.

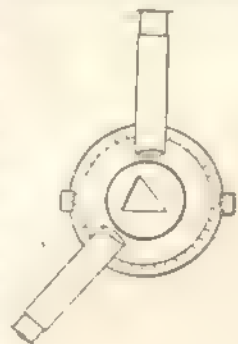
Если лучъ вступаетъ въ тѣло изъ воздуха, то n называется просто показателемъ преломленія тѣла. При переходѣ изъ среды съ показателемъ n_1 въ среду съ показателемъ n_2 относительный показатель преломленія $= n_2 / n_1$. При переходѣ изъ пустоты въ воздухъ показатель преломленія равенъ 1 (или 3); умножая на это число показатель преломленія, наблюдаемый въ воздухѣ, „приводятъ его къ пустотѣ“.

Для опредѣленія показателя преломленія тѣлу придаютъ большую частью форму призмы, твердое тѣло шлифуется, жидкость наливается въ призму изъ плоскопараллельныхъ стеклянныхъ пластинокъ. Показатель преломленія вычисляется по углу отклоненія луча при прохожденіи сквозь призму и углу между преломляющими гранями („преломляющему углу“; см. стр. 146, 147).



Спектрометръ. Общія правила

Спектрометръ (гонометръ) состоитъ изъ раздѣльнаго круга, столбика для призмы, трубы со щелью (коллиматоръ) и зрительной трубы. Неподвижный по большей части коллиматоръ снабженъ на наружномъ концѣ щелью, ширину которой можно мѣнять, а со стороны, обращенной къ призмѣ, линзой, главный фокусъ которой долженъ лежать въ плоскости щели, чтобы каждый свѣтовой пучекъ, исходящій изъ какой-нибудь точки щели, вступалъ въ призму параллельнымъ пучкомъ. Щель замѣняетъ такимъ образомъ бесконечно удаленный свѣтящійся предметъ. Зрительная труба, вращающаяся вмѣстѣ съ кругомъ или независимо отъ него, должна давать отчетлив.



вое изображение щели, должна быть, следовательно, установлена на параллельные лучи, „на бесконечность“. Для некоторых методов необходимо измерять также углы вращения призмы, нужно следовательно, чтобы столик мог скрепляться с вращающимся разделенным кругом, а зрительная труба — устанавливаться при этом неподвижно.

1. Отчет по кругу. Применение при отчетах по кругу двух диаметрально противоположных точек не только уменьшает ошибки при отчетах, но исключает также влияние эксцентричности кругового деления относительно оси вращения. Поэтому наблюдают каждый раз оба нониуса, отмечая при каждом отчете, на каком нониусе он сделан. Затем берут или среднее арифметическое из углов, отчитываемых при каждом нониусе, или, что удобнее, вычисляют градусы по одному из нониусов, а среднее арифметическое берут только из долей градуса (минут).

2. Установка зрительной трубы на бесконечность. Получают сначала отчетливое изображение нитяного креста, смещая первое стекло окуляра или самый нитяный крест. Затем направляют трубу на очень удаленный предмет и, смещая выдвижную часть трубы, устраняют параллакс изображения этого предмета относительно нитяного креста, т. е. их взаимное смещение при боковом движении глаза. Если есть приспособление для освещения нитяного креста, то бесконечно удаленный предмет может быть заменен зеркальным изображением нитяного креста в плоскопараллельной стеклянной пластинке. Ср. № 4 этого отрывка.

3. Установка коллиматора на параллельность лучей. Наводят трубу, установленную на бесконечность, на освещенную щель и выдвигают коллиматор до исчезновения параллакса изображения щели относительно нитяного креста.

4. Приспособление для освещения нитяного креста иметь целью получать в зрительной трубке зеркальное изображение ся же нитяного креста, отраженное от какой-либо плоскости и, приводя крест к совпадению с его изображением, устанавливать трубу точно перпендикулярно



к этой плоскости. Освещение производится посредством помещенного сбоку пламени, свет от которого падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку, вставленную наклонно между окуляром (гауссовым) и нитяным крестом, или на небольшую отражательную призму и отсюда через нитяный крест отбрасывается к объективу. Можно также приклеить к обыкновенному окуляру спереди стеклянную пластиночку под углом 45° к оси трубы и освещать ее сбоку. — Если труба установлена

на безконечность то лучи, исходяще отъ какой-либо точки нитянаго креста, выходятъ изъ объектива параллельнымъ пучкомъ и, попадая вновь въ трубу послѣ отражения, напримѣръ отъ грани призмы, даютъ отчетливое изображеніе нитянаго креста.

Пользуясь освѣщеннымъ нитянымъ крестомъ, можно гравѣрить перпендикулярна ли оптическая ось трубы къ оси вращения. На столикъ спектрометра ставятъ плоскопараллельную стеклянную пластинку, зеркально отражающую съ одной стороны напередъ посеребренную, и ориентируютъ ее такимъ образомъ, чтобы нитяной крестъ и его изображение казались на одной высотѣ. Если оптическая ось перпендикулярна къ оси вращения то при поворотѣ трубы на 180° изображенія снова должны лежать на одной высотѣ.

Послѣ этого испытанія можно примѣнить освѣщенный нитяной крестъ для установки какой нибудь зеркальной плоскости (грань призмы) параллельно оси вращения прибора. Именно, ориентируютъ эту плоскость такимъ образомъ, чтобы нитяной крестъ и его зеркальное изображение казались на одной высотѣ.

Если необходимо установить двѣ плоскости одного и того же тела (призмы), то ориентируютъ послѣднее такимъ образомъ, чтобы одна изъ плоскостей была перпендикулярна къ линіи соединяющей два установочныхъ винта столика. Устанавливаютъ сперва эту плоскость затѣмъ другую, пользуясь при этомъ однако только третьими установочными винтами.

Показатель преломленія призмы

Измѣряютъ преломляющій уголъ призмы и отклоненіе луча

1 Измѣреніе преломляющаго угла ϕ

а) Зрительная труба неподвижна, а призма вращается вмѣстѣ съ кругомъ. Призма устанавливается на столикъ такъ, чтобы послѣ надлежащаго поворота круга одна изъ преломляющихъ граней могла принять положеніе, занимавшееся прѣзь этимъ другой. Зрительную трубу и коллиматоръ устанавливаютъ подъ возможно острымъ угломъ другъ къ другу, освѣщая ицель и вращаютъ затѣмъ кругъ съ призмой, пока видимое въ трубѣ изображеніе цели, отраженное въ одной изъ граней, не совпадетъ съ нитянымъ крестомъ. Дѣлаютъ отчетъ на кругѣ. Вращая кругъ съ призмой, выполняютъ аналогичную установку съ другою гранью и снова дѣлаютъ отчетъ. Разность отчетовъ, если, конечно, принять во вниманіе возможный переходъ черезъ нуль дѣленія, даетъ дополнение преломляющаго угла ϕ до 180° .



Если при зрительной трубѣ есть приспособленіе для освѣщенія нитянаго креста, то обходятся безъ коллиматора, вращая вмѣстѣ съ раздѣленными кругомъ сначала одну, затѣмъ другую грань призмы такимъ образомъ, чтобы нитяной крестъ совпалъ со своимъ зеркальнымъ изображеніемъ въ грани.



б) Призма неподвижна, а зрительная труба можетъ вращаться съ нониусомъ или кругомъ. Устанавливаютъ призму такъ, чтобы равнодѣлящая преломляющаго угла, продолженная назадъ, проходила приблизительно черезъ щель. После этого зрительная труба наводится на зеркальное изображеніе щели въ каждой грани. Разность отсчетовъ по кругу въ обоихъ положеніяхъ равна удвоенному преломляющему углу.

Щель здѣсь должна быть тщательно установлена по № 3 на бесконечность.

Пользуясь освѣщаемымъ нитянымъ крестомъ, измѣряютъ преломляющій уголъ, приводя крестъ въ совпаденіе съ каждымъ изъ его зеркальныхъ изображеній въ обоихъ граняхъ. Измѣривши уголъ поворота, дополняютъ φ до 180° .

II. Измѣреніе угла отклоненія

Здѣсь имѣется въ виду „однородный“ свѣтъ определенной преломляемости (цвѣта, числа колебаній, длины волны; ср. стр. 148), на-примѣръ, свѣтъ нагрѣтаго пламени. Направленіе неогнутого луча получаютъ, установивъ зрительную трубу непосредственно на щель. Вставивъ въ призму, вызываютъ отклоненіе луча, измѣряемое однимъ изъ слѣдующихъ методовъ:

а) Положеніе наименьшаго отклоненія (симметрическое положеніе). Величина отклоненія луча зависитъ отъ направленія, въ которомъ онъ проходитъ сквозь призму.



Отклоненіе наименьшее при симметричномъ пути луча (чертежъ). Чтобы получить это „положеніе наименьшаго отклоненія“, устанавливаютъ призму и зрительную трубу такъ, чтобы отклоненный лучъ попалъ въ трубу, затѣмъ медленно вращаютъ призму и слѣдуютъ трубой за смѣщающимся изображеніемъ.

Въ положеніи наименьшаго отклоненія изображеніе движется въ одну и ту же сторону при вра-

влении призмы какъ влѣво, такъ и вправо, закрѣпляютъ въ этомъ положеніи призму, наводятъ крестъ на щель и дѣлають отчетъ на кругѣ. Вычитя этотъ отчетъ изъ отчета при прямой установкѣ на щель, получаютъ уголъ отклоненія δ . вмѣсто прямой установки на щель гораздо лучше отклонить свѣтовой лучъ призмой въ положеніи наименьшаго отклоненія одинъ разъ влѣво, другой разъ вправо и взять полуразность отчетовъ при обоихъ положеніяхъ зрительной трубы.

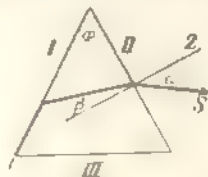
Показатель преломления n опредѣляется формулой

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(\delta + \varphi)}{\sin \frac{1}{2}\varphi}$$

гдѣ φ уголъ призмы.

Доказательство. Изучимъ симметрично сквозь призму лучъ образуетъ съ обѣими нормальми одинаковые углы, равные, очевидно, $\frac{1}{2}\varphi$, чертежъ на пред. стр. Пусть α уголъ паденія, α равно и выхода луча изъ призмы, тогда по закону преломленія $\sin \alpha = n \sin \frac{1}{2}\varphi$. Съ другой стороны, очевидно, $\alpha = \frac{1}{2}(\delta + \varphi)$. Изъ получающагося отсюда уравненія $\sin \frac{1}{2}(\delta + \varphi) = n \sin \frac{1}{2}\varphi$ и вытекаетъ приведенное выше выраженіе для n .

б) Скользящее входеніе. Призма неподвижна, зрительная труба можетъ вращаться вмѣстѣ съ кругомъ дѣленій или независимо отъ него. Щель не употребляется, одна изъ граней призмы (I) освѣщается скользящимъ по ея поверхности широкимъ свѣтовымъ пучкомъ, напримѣръ, натриевымъ пламенемъ, помѣщеннымъ на продолженіи грани. Тогда, если смотрѣть черезъ другую грань призмы, свѣтъ кажется рѣзко ограниченнымъ, наводятъ трубу на линію раздѣла между свѣтомъ и темнотой. Задача сводится къ опредѣленію угла α между этимъ направленіемъ трубы S и нормалью Z къ грани II. Для этого наблюдаютъ второй разъ черезъ грань I, освѣщая скользящимъ пучкомъ грань II. При этомъ поворачиваютъ трубу вокругъ призмы и снова наводятъ ее на границу между свѣтомъ и темнотой. Если обозначить уголъ поворота, считая вокругъ грани III, черезъ α , то, очевидно, $\alpha = 90^\circ - \frac{1}{2}(\alpha - \varphi)$.



Для призмъ съ болѣе острымъ преломляющимъ угломъ этотъ уголъ α , а слѣдовательно, и $\sin \alpha$ отрицательны.

Вычисляютъ n по формулѣ

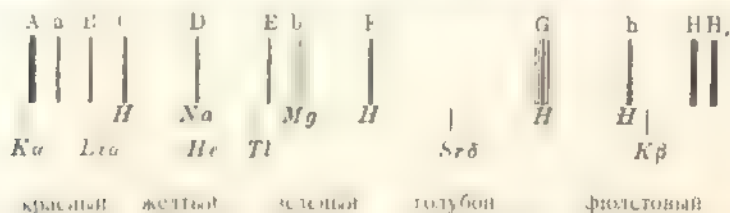
$$n^2 = 1 + \left(\frac{\cos \varphi + \sin \alpha}{\sin \varphi} \right)^2.$$

Дѣйствительно, $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ (чертежъ) и, при скользящемъ вхожденіи въ грань I, также $n = \frac{1}{\sin(\varphi - \beta)}$. Исключение β изъ обоихъ уравненій даетъ написанную выше формулу.

Пользуясь освѣщаемымъ нитянымъ крестомъ, можно измѣрить α прямо установивъ трубу, послѣ установки въ направленіи χ , по нормали Z согласно № 4.

Цвѣтъ. Длина волны. Спектръ. Преломляемость свѣта различна въ зависимости отъ его періода колебанія (цвѣта, длины волны). Она возрастаетъ съ увеличеніемъ числа колебаній въ секунду (съ уменьшеніемъ длины волны), въ порядкѣ цвѣтовъ: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, фиолетовый. Показатель преломленія долженъ, естественно, относиться къ одноцвѣтному свѣту опредѣленнаго періода колебанія. Одноцвѣтный (однородный) свѣтъ даютъ пары солей Na, Ti, также, до извѣстной степени, Li въ пламени бунзеновской горѣлки. NaCl слѣдуетъ накаливать въ платиновомъ ушкѣ, въ виду растрескиванія его предъ плавленіемъ, онъ испаряется быстро, долѣе служить Na_2CO_3 (прокаленная сода). Изъ газовъ, свѣтящихся при электрическомъ разрядѣ въ гейслеровыхъ трубкахъ въ разряженномъ состояніи (см. также 64, въ концѣ), особенно пригоденъ для измѣреній водородъ, дающій три спектральныхъ линіи (три цвѣта).

Въ солнечномъ свѣтѣ, направляемомъ съ помощью гелиостата горизонтально на шель, пользуются фраунгоферовыми линіями. Чертежъ представляетъ распредѣленіе важнѣйшихъ изъ этихъ линій



въ видимой части призматическаго спектра сравнительно съ положеніемъ нѣкоторыхъ названныхъ выше линій. Для памяти полезно замѣтить, что въ призматическомъ спектрѣ линіи ADFGH расположены на равныхъ, приблизительно, разстояніяхъ другъ отъ друга. Ср. табл. 19, гдѣ даны также длины волнъ.

Чтобы увидѣть А и а, берутъ не слишкомъ узкую шель и помѣщаютъ предъ нею красное стекло. D, при узкой шели и достаточномъ увеличеніи, представляется тонкой двойной линіей.

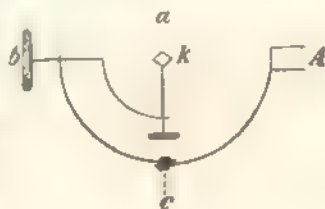
Разность показателей преломления для двухъ определенныхъ цвѣтовъ (напримѣръ, для фраунгоферовыхъ линій В и Н) называется величиной дисперсии для этихъ цвѣтовъ.

61. Измѣреніе двуграннаго угла съ помощью отражательнаго гониометра Воластона

Для измѣренія двугранныхъ угловъ въ очень малыхъ тѣлахъ необходимо особое установочное приспособленіе, которое имѣется, дѣйствительно, въ нѣкоторыхъ спектрометрахъ. Однако грани иныхъ кристалловъ столь не совершенны, что зеркальныя изображенія, полученыя отъ нихъ удобнѣе наблюдать невооруженнымъ глазомъ, чѣмъ трубой.

Ось вращения должна быть параллельна отдаленной верхней горизонтальной мѣткѣ (край оконной рамы, конекъ крыши), предполагается, что ребро измѣряемаго двуграннаго угла предварительно установлено параллельно оси (см ниже). Держать глазъ вплотную предъ кристалломъ и, вращая кругъ, приводить къ совпадению зеркальное изображеніе мѣтки () въ одной изъ граней кристалла съ непосредственно видимой другой, ниже расположенной, также горизонтальной мѣткой (край пола, изображеніе верхней мѣтки въ укрупненномъ за гониометромъ зеркалѣ) и дѣлають отчетъ по кругу. Затѣмъ вращають кругъ вмѣстѣ съ кристалломъ до совпаденія съ мѣткой (изображенія мѣтки () въ другой грани кристалла и снова дѣлають отчетъ. Угль поворота дополняютъ искомымъ двугранный угль до 180° .

Установка ребра параллельно оси. Для систематической ориентировки служитъ держатель съ приспособленіемъ для вращенія въ трехъ направленіяхъ. A ось круга, a, b, c установочныя оси, k укрепленный воскъ кристаллъ.



1. Вращая вокругъ c , устанавливаютъ приспособленіе такъ, чтобы ось b составляла продолженіе A , т. е. оставалась параллельной себѣ при вращеніи A . Теперь, вращая вокругъ a , устанавливаютъ грань I кристалла параллельно A (см. объ этомъ ниже)

2. При вращеніи вокругъ оси c градусовъ на $60-90$ положеніе грани I вообще измѣняется. Вращеніемъ вокругъ b установивъ свѣтъ I снова параллельно A . Теперь I параллельна A и b .

довательно, перпендикулярна къ c . Вращение вокруг c не измѣнить, слѣдовательно, положенія грани I

3. Вращеніемъ вокруг c устанавливають грань II параллельно A .

При каждой слѣдующей установкѣ какой-либо оси нельзя больше вращать осей, установленныхъ раньше!

Установка грани параллельно оси A выполняется при помощи двухъ отдаленныхъ мѣтокъ, лежащихъ въ плоскости круга дѣлений и перпендикулярныхъ къ оси вращения (вертикальный край оконной рамы и черта, проведенная подъ нимъ на полу, дымовая труба, громоотводъ и т. д. и соответствующее изображение въ неподвижномъ зеркалѣ гониометра). Грань параллельна оси, если при подходящемъ вращеніи вокруг A зеркальное изображение верхней мѣтки въ грани совпадаетъ съ нижней мѣткой.

62 Определение показателя преломления плоскопараллельной пластинки подъ микроскопомъ

Способъ не особенно точенъ, но важенъ своей простотой

Пусть толщина пластинки d , а искомый показатель преломленія n .

Объектъ разсматриваемый черезъ пластинку, кажется ближе на разстояніи $a = d(n-1)$ и. Дѣйствительно если въ обоихъ треугольникахъ, имѣющихъ меньшимъ катетомъ c (чертежъ), на самомъ дѣлѣ очень остроугольныхъ, положить гипотенузы равными, приблизительно, катетамъ d и $d-a$, то $c = (d-a)$ и $c = d$ представить соответственно синусы угловъ паденія и преломленія луча. Такимъ образомъ

$$n = d / (d-a) \text{ или } a = d(n-1) \cdot n.$$

1. Предположимъ, что микроскопъ установленъ рѣзко на какой-нибудь объектѣ. Если помѣстить между послѣднимъ и объективомъ плоскопараллельную пластинку, то придется увеличить разстояние на a чтобы снова отчетливо увидѣть объектъ. Показатель пластинки равенъ тогда

$$n = d / (d-a).$$

2. Пусть на передней и задней поверхностяхъ пластинки имѣется по отчетливо видимой точкѣ. Если для переустановки микроскопа съ одной изъ точекъ на другую необходимо смѣщеніе h , то, какъ

можно вывести изъ предыдущаго,

$$n = d / h.$$

3. На передней поверхности плоскопараллельной пластинки наносить бѣлой краской отчетливую мѣтку, устанавливають на нее микроскопъ. Чтобы увидѣть зеркальное изображеніе мѣтки, отраженное отъ задней поверхности пластинки, необходимо уменьшить разстояніе между микроскопомъ и пластинкой на разстояніе h . Показатель преломленія равенъ

$$n = 2d / h.$$

По способу 3, освѣщаютъ пластинку падающимъ свѣтомъ, затемняя фонъ или, лучше, посеребривъ заднюю поверхность пластинки.

Для точнаго измѣренія величины необходимаго смѣщенія микроскопа можетъ служить установочный винтъ микроскопа, если извѣстенъ ходъ винта, и головка его снабжена дѣлениями.

О точности установки судятъ, лучше всего, по отсутствію параллакса изображенія относительно нитянаго креста въ окулярѣ. Наиболѣе пригоденъ короткофокусный объективъ не особенно большаго диаметра. При такомъ объективѣ и довольно толстыхъ хорошихъ пластинкахъ можно разсчитывать еще на третью десятичную показателя преломленія.

63. Опредѣленіе показателя преломленія по углу полнаго отраженія

Для этого метода достаточно одной грани, причемъ тѣло можетъ быть и не вполне прозрачнымъ.

Наибольшій уголъ преломленія x , т. е. въ которомъ лучъ можетъ войти въ воздухъ въ среду съ показателемъ N соответствуетъ скользищему вхожденію подъ угломъ паденія въ 90° , опредѣляясь соотношеніемъ $N \sin 90^\circ \sin x = 1 \sin x$ или $\sin x = 1 / N$. Лучъ, падающій изнутри подъ угломъ, большимъ x , не можетъ поэтому выйти наружу: онъ вполне отражается. Наблюденіе угла полнаго отраженія даетъ, следовательно, средство къ опредѣленію показателя преломленія.

Если лучъ идущій изъ среды съ показателемъ N , попадаетъ на поверхность раздѣла между нею и средой съ меньшимъ показателемъ n , то въ предыдущихъ соотношеніяхъ вмѣсто N войдетъ N / n . Следовательно, наблюденіе угла полнаго отраженія Φ даетъ соотношеніе

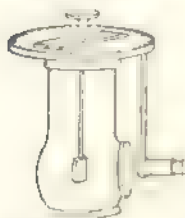
$$\frac{n}{N} = \sin \Phi,$$

изъ котораго опредѣляется показатель одной изъ средъ, если извѣстенъ другой.

И въ этомъ методѣ точныя опредѣленія должны начинаться съ свѣту одного опредѣленнаго цвѣта (стр. 148).

I. Рефлектометр Кольрауша

Ось указателя, вращающегося над раздѣленным кругомъ, продолжена внизъ, по другую сторону круга, къ нижнему концу ея прикрѣпляется на пробѣ и т. п. изслѣдуемое тѣло, отражающая поверхность котораго должна проходить приблизительно черезъ ось вращенія. Для этой установки служить, во-первыхъ, лезвие, во-вторыхъ, зеркало, параллельное оси, или то, или другое не изображены на чертежѣ; изображение глаза или небольшого пламени въ этомъ зеркалѣ и въ устанавливаемой грани должны казаться на одной высотѣ. Сзади и съ боку къ тѣлу зачернивается тушью. Затѣмъ подводить снизу стеклянный сосу-



дикъ съ сильно преломляющей жидкостью (сѣроуглеродъ 1.63, α -монобромонафтилинъ 1.66, толистый метилъ 1.74), чтобы тѣло было погружено въ ней, обертываютъ сосудикъ прозрачной шелковой бумагой, смоченной если понадобится керосиномъ, и освѣщаютъ сбоку натриевымъ пламенемъ. Небольшая зрительная труба должна быть установлена „на безконечность“. При наладживаніи, находясь, путемъ пробъ, въ положеніи отражающей грани и лампы — глазъ аккомодированный на большое расстоеніе или смотрящій въ трубу — увидѣть находящуюся въ полѣ зрѣнія поверхность грани раздѣленной на яркую и менѣе свѣтлую половины, и линію раздѣла которыхъ и производится установка.



Не совершенно плоскія поверхности, напримѣръ, естественныя грани кристалловъ, наблюдаютъ лучше всего безъ увеличивающей зрительной трубы съ помощью, напримѣръ, цитра съ полулинзой, черезъ которую отчетливо видна нить, тогда какъ другая половина глазного лучка, не закрытая линзой, даетъ неувеличенное изображение грани, или обращаютъ трубу окуляромъ къ грани и смотрятъ въ объективъ.

Вращая указатель, устанавливаютъ на линію раздѣла и дѣлаютъ отчетъ на кругѣ. Затѣмъ ставятъ лампу по другую сторону и, вращая грань, снова производятъ установку. Половина угла между обоими положеніями равна углу полного отраженія Φ между жидкостью и тѣломъ, и, слѣдовательно, $n = N \sin \Phi$, если N показатель преломленія жидкости.

Показатель преломленія чистаго сѣроуглерода равенъ для натріеваго свѣта 1.6277 при 20° и убываетъ на 0.00040 на 1°. Температуру поэтому слѣдуетъ тщательно измѣрять. Ширма съ отверстіемъ закрытымъ толстой стеклянной пластинкой уменьшаетъ нагреваніе и одновременно затемняетъ фонъ.

Кристаллы. Двупреломляющіе объекты, обладая двумя показателями преломленія, даютъ вообще двѣ линіи раздѣла. Предполо-

жимъ, что данъ одноосный кристаллъ, срѣзанный перпендикулярно къ оси (смотри 70). Выполнивъ описанныя выше измѣренія для внутренней и наружной паръ линій раздѣла, получаютъ наименьшій и наибольшій главные показатели преломленія кристалла. Лучъ, горизонтально поляризованный (т. е. исчезающій въ николевой призмѣ при вертикальномъ направленіи большей диагонали), — обыкновенный, другой — необыкновенный.

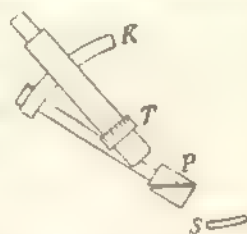
Показатель преломленія N жидкости въ склянкѣ

Для опредѣленія N съ помощью того же рефлектометра берутъ маленькую плоскопараллельную пластинку съ извѣстнымъ показателемъ преломленія n (напримѣръ, горный хрусталь 1.5442 и 1.5533 для Na) или слой воздуха за плоскопараллельной пластинкой. Тогда

$$N = \frac{n}{\sin \phi} \quad \text{или, въ случаѣ воздуха, } N = \frac{1}{\sin \phi}$$

II. Рефрактометръ Аббе

Предназначенъ главнымъ образомъ для жидкостей. Достаточно одной капли, которую вводятъ между поверхностями раздѣла двойной призмы P изъ сильно преломляющаго (легко вращающаго) стекла. Для этого, положивши приборъ, сдвигаютъ осторожно одну изъ призмъ и, введя жидкость, измѣняютъ образъ. Здѣсь измѣряется предѣльный уголъ входа, равный углу полнаго отраженія. Лучи, отбрасываемые осѣдательнымъ зеркаломъ къ жидкости, проникаютъ черезъ нее только внутри этого угла, такъ что при правильномъ наклонѣ двойной призмы поле зрѣнія въ трубѣ, установленной на параллельные лучи, кажется въ отпородномъ свѣтѣ рѣзко разграниченнымъ.



Выдвигая окуляръ, получаютъ отчетливое изображение нитянаго креста. Пользуясь натріевымъ свѣтомъ, достаточно вращать призму съ указателемъ до совпаденія свѣтовой границы съ нитянымъ крестомъ: отчетъ по кругу прямо даетъ показатель преломленія жидкости для натріеваго свѣта.

Пользуясь обыкновеннымъ бѣлымъ свѣтомъ, находятъ вмѣстѣ съ тѣмъ дисперсію жидкости слѣдующимъ образомъ. Поле зрѣнія въ этомъ случаѣ кажется вообще окрашеннымъ. Устанавливаютъ компенсаторъ (т. е. раздѣленный барабанъ T , съ которымъ вращаются въ противоположныя стороны двѣ призмы прямого зрѣнія) такъ, чтобы окрашивание замѣнилось рѣзкой границей, приводятъ ее къ сов-

падению съ нитянымъ крестомъ и дѣлають отчеты при алидадѣ и на барабанѣ. Затѣмъ отыскивають второе положеніе барабана съ рѣзкой границей, снова устанавливають и дѣлають отчеты.

Среднее изъ обоихъ отчетовъ при алидадѣ даетъ показатель преломленія для натріеваго свѣта; дисперсія вычисляется по таблицѣ, прилагаемой къ каждому прибору.

Для провѣрки дѣлений и, если понадобится, для составленія таблицъ поправокъ служатъ извѣстныя жидкости (табл. 19), особенно вода.

III Рефрактометръ Пульфриха

Въ приборѣ пользуются не полнымъ отраженіемъ, а обратнымъ процессомъ, именнѣю скользкимъ вхожденіемъ, что сводится однако къ тому же. Жидкость наливаютъ на поверхность стекляннаго куба, для чего на немъ



наклеенъ стеклянный цилиндръ. На разстояніи отъ $\frac{3}{4}$ до 1 м., нѣсколько выше верхней грани куба, помѣщаютъ натріевое пламя и собирають при помощи линзы лучи изъ нижнею краѣ цилиндра. Труба прищюпавшая въ вертикальной плоскости, устанавливается изъ бесконечности и наводится снизу на границу между свѣтомъ и темнотою. Раздѣленный кругъ трубы даетъ предѣльный уголъ α выхода луча съ нормалью къ грани выхода.

Если показатель преломленія стекла N , а жидкости n , то

$$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 \alpha}.$$

Дѣйствительно, $N \sin \alpha = 1 \sin \phi$, съ другой стороны, $N \sin \alpha = \sin (90^\circ - \phi) = \sin \alpha \cos \phi = \sin \alpha \sqrt{1 - n^2 / N^2}$, следовательно $N^2 = n^2 / \sin^2 \alpha$ и

$$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 \alpha}.$$

Должно быть $n < N$. Употребляются кубы для которыхъ $N = 1.615$ и 1.78 . Прилагается таблица для n . Правильность установки раздѣленного круга можно провѣрить, пользуясь водою: $n_{15^\circ} = 1.3337$, $n_{20^\circ} = 1.3333$.

Можно изслѣдовать такимъ образомъ и твердыя тѣла въ формѣ пластинокъ, приклеивая ихъ къ грани куба каплей сильнѣе преломляющей жидкости.

64. Спектральный анализъ (Бунзенъ и Кирхгофъ)

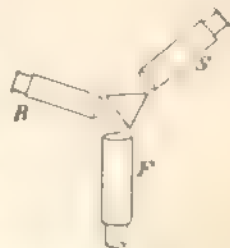
Для анализа свѣта (разложенія на цвѣта) получаютъ его спектръ болѣею частью путемъ преломленія въ призмѣ или же дифракціей при прохожденіи или отраженіи отъ рѣшетки.

По составу свѣта можно судить о его происхожденіи. Раскаленные твердые и жидкія тѣла даютъ непрерывный спектръ: газы и пары — отѣльные свѣта, опредѣляемые главнымъ образомъ химической природой тѣла.

И по абсорбціи свѣта въ тѣлѣ можно вообще судить о его химическихъ свойствахъ. Газы или пары абсорбируютъ тѣ свѣта, которые они при той же температурѣ, свѣтятся, испускаютъ.

Спектральный аппаратъ (спектроскопъ) опредѣляетъ характеръ свѣта большей частью по расположенію его составныхъ частей на особой шкалѣ.

Обыкновенный спектральный аппаратъ (чертежъ) имѣетъ, какъ и спектрометръ, трубу *F*, коллиматоръ *S* и, кромѣ того, трубу *R* съ микрометрической шкалой. Изображеніе шкалы получается путемъ отраженія отъ грани призмы, обращенной къ зрительной трубѣ.



1 Установка спектральнаго аппарата

Слѣдуетъ придерживаться указанного ниже порядка операций.

Щель должна соответствовать безконечно удаленному предмету и должна быть отчетливо видимой.

Если надлежащее положеніе выдвижной трубки коллиматора опредѣлено (конструкціей прибора), то остается только установить зрительную трубу на отчетливое видѣніе щели; въ противномъ случаѣ сперва наводятъ трубу на отдаленный предметъ, затѣмъ направляютъ ее на щель и смѣняютъ послѣднюю, пока она не станетъ отчетливо видимой.

Призма должна быть въ положеніи наименьшаго отклоненія. Освѣщаютъ щель нагрѣваемымъ пламенемъ, ставятъ призму въ приблизительно правильномъ положеніи предъ линзой коллиматора, опредѣляютъ приблизительно, невооруженнымъ глазомъ, направление выходящаго луча и ищутъ трубой изображеніе щели. Вращаютъ теперь призму (слѣдуя за нею, если понадобится, трубой) пока изображеніе щели въ трубѣ не двинется обратно, и закрѣпляютъ призму въ этомъ положеніи.

Отраженное изображеніе шкалы должно быть отчетливо видимымъ. Шкала освѣщается небольшимъ, узкимъ, не слишкомъ близко (20 см) поставленнымъ пламенемъ. Получивъ, вращеніемъ трубы со шкалой, ея изображеніе въ зрительной трубѣ, выдвигаютъ трубу со шкалой, пока отчетливое изображеніе шкалы не

перестанетъ смѣшаться относительно изображенія щели при смѣщеніи глаза предъ окуляромъ.

Опредѣленное дѣленіе шкалы, 50-ое по шкалѣ Бунзена-Кирхгофа, должно совпадать съ натріевой линіей. Вращаютъ трубу со шкалой, пока не получится это положеніе, и закрѣпляютъ ее.

II. Градуировка шкалы

Чтобы узнать, какими точкамъ шкалы соответствуютъ линіи, принадлежащія отдѣльнымъ химическимъ элементамъ, можно наблюдать отдѣльно спектры веществъ и отмѣчать положеніе линій на шкалѣ (вмѣстѣ съ данными относительно ихъ приблизительной яркости, ширины, цвѣта и рѣкости). Удобнѣе пользоваться рисунками, составленными по шкалѣ Бунзена-Кирхгофа, или таблицами 18 и 19, соответствующими этой шкалѣ, градуируя по нимъ шкалу прибора слѣдующимъ образомъ.

Наблюдаютъ на шкалѣ нѣсколько извѣстныхъ линій на концахъ и въ срединѣ спектра (солнце линіи α , D, F, G, H; или $K\alpha$, $L\alpha$, Na, Sr δ , K β ; чертежъ стр. 148), наносятъ наблюденныя дѣленія шкалы на координатную бумагу, какъ абсциссы, а соответствующія дѣленія шкалы B-K, какъ ординаты, и соединяютъ полученныя точки кривой, послѣдняя рѣдко будетъ отличаться значительно отъ прямой. По графику находятъ тогда, какъ ординату кривой, дѣленіе шкалы B-K, соответствующее любому наблюденному дѣленію шкалы. Если шкала прибора, какъ часто случается, близко подходитъ къ шкалѣ B-K, то устанавливаютъ Na на 50-ое дѣленіе, производятъ попрежнему рядъ сравнительныхъ наблюденій и строятъ кривую поправокъ, нанося на оси абсциссъ дѣленія шкалы прибора, а на оси ординаты разности между ними и соответствующими дѣленіями шкалы B-K.

Пары образуютъ, вводя въ пламя бунзеновской горѣлки зернышко соли на платиновой проволоцѣ. Зернышко сплавляется обыкновенно легче, если вести накаливаніе платиновой проволоки, начиная сзади. Ушко платиновой проволоки должно быть замкнутымъ. NaCl и KCl предъ употребленіемъ прокаливаются во избѣжаніе рас-трескиванія. Прокаленная сода удобнѣе, чѣмъ NaCl — Наиболѣе дѣйствительная чистка проволоки производится многократнымъ погруженіемъ въ соляную кислоту и чистую воду и прокаливаніемъ на оконечности бунзеновскаго пламени.

III. Анализъ

Тѣла распознаются по совпаденію ихъ спектральныхъ линій съ линиями извѣстныхъ веществъ (сравни II). При этомъ обращаютъ вниманіе не только на положеніе, но и на приблизительную яркость, ширину и рѣзкость наблюдаемыхъ линій. Напримеръ, $\text{Sr}\beta$ и $\text{Li}\alpha$ совпадаютъ по положенію, но $\text{Sr}\beta$ размыта, а $\text{Li}\alpha$ совершенно рѣзка. Можно изобразить полосы наглядно, графическимъ способомъ, откладывая яркость въ какой-либо точкѣ шкалы по ординатѣ надъ этой точкой и вычерчивая такимъ образомъ кривыя для изучаемыхъ спектровъ.

Что касается распознаванія щелочныхъ земель, слѣдуетъ обращать вниманіе преимущественно на характерныя (слабыя) голубыя линіи стронція и кальція.

Зернышко соли вносится всегда въ наружный конусъ пламени и притомъ настолько низко, чтобы раскаленная твердая часть не могла дать непрерывнаго спектра, мѣшающаго наблюдениямъ. Советуется наблюдать одинъ разъ съ узкой щелью, чтобы различить близкія другъ къ другу линіи, и затѣмъ съ болѣе широкой щелью для отысканія слабыхъ линій; равнымъ образомъ одинъ разъ съ небольшимъ газовымъ пламенемъ для летучихъ веществъ (K, Li), другой разъ съ большимъ пламенемъ для трудно улетучивающихся (Sr , Ba, Ca). Спектры послѣднихъ часто выступаютъ отчетливо только спустя много времени. Ослабленіе спектра при долгомъ дліищемся опытѣ происходитъ обыкновенно вслѣдствіе превращенія летучихъ соединений черезъ накалываніе въ менѣе летучія окиси. Тогда можно на мгновеніе усилить яркость, смачивая зернышко на платиновой проволоцѣ чистой соляной кислотой. Соединенія, вроде сульфатовъ щелочныхъ земель, почти не летучія сами по себѣ и не превращаемыя соляной кислотой, прокачиваются претъ смачиваніемъ соляной кислотой въ нижней восстановительной части пламени.

Посторонній свѣтъ устраняется черной ширмой за газовымъ пламенемъ, коробкой, закрывающей призму съ вырѣзами для трехъ трубъ, наконецъ, заслонкой изъ черной бумаги, надѣтой на зрительную трубу, избавляющей вмѣстѣ съ тѣмъ отъ необходимости закрывать другой глазъ. Даже шкалу не слѣдуетъ освѣщать сильно, чѣмъ нужно для того, чтобы различать ее! Разсматривая очень слабыя линіи, выгодно на время совершенно затемнять шкалу.

Диффракционная рѣшетка (Фраунгоферъ)

Свѣтъ проходитъ черезъ отверстия узкой рѣшетки прямолинейно, но вмѣстѣ съ тѣмъ по обѣ стороны отъ средняго направления образуются максимумы яркости „первато второго и т. д. порядковъ“, которые при очень большомъ числѣ равноотстоящихъ отверстій рѣшетки представляются въ однородномъ свѣтѣ рѣзко ограниченными. Если свѣтъ падаетъ на такую рѣшетку перпендикулярно, то направления максимумовъ образуютъ съ среднимъ направлениемъ углы $\delta_1, \delta_2, \delta_3$, определяемые соотношениями

$$\sin \delta_1 = \frac{\lambda}{l}, \quad \sin \delta_2 = \frac{2\lambda}{l}, \quad \sin \delta_3 = \frac{3\lambda}{l} \text{ и т. д.}$$

гдѣ λ длина волны, l — расстояние между соседними отверстиями.

Дѣйствительно въ каждомъ изъ этихъ направлений оптически длины пути отъ отдаленныхъ отверстій рѣшетки отличаются другъ отъ друга на цѣлое число волнъ. Свѣтовые колебания, исходящія отъ различныхъ отверстій и попадающія на отдаленный экранъ или въ трубу установленную на параллельные лучи оказываются въ одной и той же фазѣ и суммируются. Во всякомъ другомъ направлении идущіе диффракционные волны на различныхъ расстояніяхъ отъ отверстій и оказываясь поэтому при соединеніи въ разнообразныхъ фазахъ взаимно уничтожаются, если число отверстій достаточно велико.

Диффракционная рѣшетка ставится на столикъ спектрометра (60) перпендикулярно къ коллиматору, заштрихованной стороной къ зрительной трубѣ, штрихи параллельно щели. Труба и коллиматоръ устанавливаются предварительно на бесконечность (60, 2, 3). При подходящемъ положеніи зрительной трубы наблюдаются, кромѣ средняго яркаго изображенія щели, первое второе и т. д. отклоненныя изображенія съ каждой стороны. Если $\delta_1, \delta_2, \delta_3$.. угловые расстоянія отклоненныхъ изображеній отъ средняго, то длина волны взятаго однороднаго свѣта равна

$$\lambda = l \sin \delta_1 = \frac{1}{2} l \sin \delta_2 = \frac{1}{3} l \sin \delta_3 \text{ и т. д.}$$

Точно перпендикулярное положеніе диффракционной рѣшетки характеризуется тѣмъ, что расстояние между соответствующими другъ другу боковыми изображеніями при этомъ положеніи наименьшее.

За единицу длины для свѣтовыхъ волнъ принимаютъ обыкновенно микронъ (μ) т. е. тысячную миллиметра.

Диффракционный спектръ. Сложный свѣтъ разлагается рѣшеткой въ спектръ, въ которомъ свѣтъ боьшей длины волнъ (красный) оказывается, согласно съ предыдущими формулами наиболѣе отклоненнымъ. Болѣе претомляемая часть спектра менѣе про-

тяжена, чѣмъ въ призматическомъ спектрѣ (стр. 148). Второй и слѣдующіе спектры налагаются другъ на друга.

Длины волнъ можно опредѣлять простымъ, понятнымъ безъ объясненій способомъ по спектральной шкалѣ 64 II), градуированной предварительно въ длинахъ волнъ по известнымъ линиямъ (табл. 19).

Ньютоновы кольца

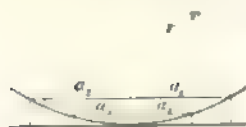
Если свѣтъ отражается отъ двухъ лежащихъ одна на другой поверхностей, то оба потока волнъ взаимно усиливаются или ослабляются смотря по разности хода между ними. Съ увеличеніемъ расстоянія между поверхностями на λ , а разности хода, слѣдовательно на λ , каждая разность фазъ повторяется, отсюда вытекаетъ слѣдующее правило:

Пусть шаровая поверхность большаго радиуса кривизны r (66) лежитъ на плоскопараллельной пластинкѣ и освѣщается однороднымъ свѣтомъ. Пусть радиусъ ρ го кольца, если смотрѣть перпендикулярно, равенъ a_1 , а радиусъ $(\rho + k)$ -го a_2 . Тогда длина волны взятаго свѣта равна

$$\lambda = (a_2^2 - a_1^2) / (kr).$$

Этой же формулой можно воспользоваться для опредѣленія радиуса r , пользуясь натриевымъ свѣтомъ ($\lambda = 0.000589$ м м).

Доказательство. Кольцо радиуса a находится на разстояніи отъ центра шара, равномъ $\sqrt{r^2 - a^2}$ или, если a очень мало по формулѣ 3 стр. 22 $r - \frac{a^2}{2r}$. Разность разстояній въ нашемъ случаѣ равна поэтому $(a_2^2 - a_1^2) / 2r = k\lambda$.



66. Измѣреніе радіуса кривизны

1. Съ помощью сферометра

Устанавливаютъ сферометръ (21, II) сначала на выѣренной (IV) плоскости, затѣмъ на изслѣдуемой поверхности. Если h разность установокъ средняго острія въ обоихъ опылахъ, а l сторона равнобедреннаго треугольника, вершинами котораго служатъ три неподвижныхъ острія, то искомый радиусъ кривизны равенъ

$$r = \frac{l^2}{2h} + \frac{1}{2}h$$

Для этого достаточно и H высотъ треугольника со сторонами l положить прямоугольный треугольникъ съ катетами a и b и гипотенузой l слѣдуетъ $a^2 + b^2 = H^2$ или $2ab = l^2 - H^2$, отсюда такъ какъ $H^2 = \frac{1}{4}l^2$ и вытекаетъ предыдущая формула.

Проще всего измѣрить l , нажавши остиями сферометра на бумагу. Если стороны нѣсколько отличаются другъ отъ друга, можно взять среднее.

Въ продажѣ имѣются удобные для оптическихъ цѣлей сферометры съ указателемъ, на который, по установкѣ на поверхности, прямо отчитывается r , или чаще $1/r$. Для линзъ одинаковой съ обѣихъ сторонъ кривизны (очковая линза или объективная линза стекла съ показателемъ 1.5 число) представляется также соотношеніе (вычислена обратная фокусному расстоянію) въ дюймахъ; сравни 67, начало.

II Посредствомъ отраженія

Зеркальная шаровая поверхность дастъ или минное прямое изображеніе (свѣтителъ точки (на зеркаломъ) или действительное обращенное (передъ зеркаломъ), послѣднее только въ томъ случаѣ когда точка лежитъ между фокусомъ и расстояніемъ отъ центра. Фокусное расстояние равно $f = \frac{1}{2}r$. Если расстояние свѣтящейся точки отъ зеркала равно A , то расстояние изображенія a дается соотношеніемъ $\frac{1}{A} + \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$, расстояние минного изображенія и фокусное расстояние выпуклаго зеркала считаются здѣсь отрицательными. Величина изображенія λ связана съ величиной предмета L соотношеніемъ $\lambda : L = a : A$; см. чертѣжъ ниже.

Методъ примѣнимъ къ зеркальнымъ поверхностямъ не слишкомъ малой кривизны, небольшого даже размѣра. На довольно большомъ разстояніи A отъ центра вертикально поставленной поверхности устанавливаются на разстояніи L другъ отъ друга два узкихъ источника свѣта, а между ними, посрединѣ, зрительная труба, наведенная на поверхность. Непосредственно предъ поверхностью, параллельно линіи, соединяющей источники свѣта, укрѣпляется небольшой — лучше всего нанесенный на стеклѣ масштабъ. Источники свѣта дають два отраженныхъ отъ поверхности изображенія, разстояніе l между ними наблюдается трубой на маленькомъ масштабѣ. Тогда

для выпуклой

$$r = \frac{2Al}{L - \lambda}$$

для вогнутой поверхности

$$r = \frac{2Al}{L + \lambda}$$

Докладательно для вогнутой поверхности L представь здѣсь величину предмета, λ — изображенія. Действительное изображеніе лежитъ на разстояніи a отъ шаровой поверхности; имѣемъ: $\lambda : L = a : A$. Но смотрящимъ въ трубу λ проектируется на масштабъ, занимая на немъ длину l . Очевидно, $l : \lambda = A : (A - a)$ и, слѣдо-



вательно, $l : L = a : (A - a)$; но $l : (L + l) = a : A$; слѣдовательно, $1/a = (L + l)/Al$. Вставляя это въ уравненіе $1/A + 1/a = 2/r$, получаемъ $2/r = (L + 2l)/Al$ или $r = 2Al/(L + 2l)$.

Центръ кривизны и изображеніе въ выпуклой поверхности лежатъ по другую сторону ея. При доказательствѣ обращаютъ знаки предъ r и a .

Чѣмъ меньше кривизна, тѣмъ болѣе должно быть взято разстояніе A въ сравненіи съ L , во-первыхъ, чтобы имѣли мѣсто эти формулы, во-вторыхъ, въ виду того, что на небольшомъ разстояніи изображенія и масштабъ не видны одновременно отчетливо; впрочемъ, можно сдѣлать ихъ рѣзкими, уменьшая отверстіе объектива трубы.

Въ качествѣ источниковъ свѣта удобны небольшія бензиновыя пламена. Можно также воспользоваться краями окна, если труба установлена непосредственно предъ нимъ.

Въ линзахъ образуются изображенія и отъ задней поверхности: въ двояковыпуклыхъ и двояковыпуклыхъ линзахъ главные изображенія узнаются, смотря по тому, какими они должны быть: прямыми или обращенными. Побочныя изображенія устраняются зачерненіемъ задней поверхности.

Офтальмометръ Гельмгольца

Двѣ стеклянныя пластинки одинаковой толщины могутъ вращаться предъ зрительной трубой, поворачиваясь одновременно въ противоположныя стороны на равные углы; уголъ вращенія можетъ быть измѣренъ. Въ нулевомъ положеніи, когда обѣ пластинки перпендикулярны къ оптической оси трубы, наблюдается одно изображеніе визируемой точки, при вращеніи оно раздвигается. Двѣ точки даютъ, слѣдовательно, двѣ пары изображеній. Для измѣренія разстоянія между точками приводятъ къ совпаденію ихъ среднія изображенія.

По необходимому для этого углу вращенія разстояніе опредѣляется на основаніи таблицы, которую строятъ или вычисленіемъ, по толщинѣ и показателю преломленія пластинокъ, или эмпирически, наводя приборъ на два какихъ-нибудь дѣленія миллиметровой шкалы и нанося наблюдаемые углы вращенія на оси абсциссъ, а разстоянія на оси ординатъ (8). Разстояніе объекта отъ прибора не играетъ роли.

Офтальмометръ можно примѣнить къ опредѣленію разстоянія между изображеніями пламенъ, если только оно достаточно мало.

Измѣряется здѣсь истинное разстояние λ . Радиусъ кривизны равенъ тогда $r = \frac{2A\lambda}{L - \lambda}$ или $\frac{2A\lambda}{L - \lambda}$ (сравни доказательство на стр. 161)

III. По фокусному разстоянію

Можно опредѣлить, по 67, 1, 3 - 6 съ небольшими измѣненіями, фокусное разстояние вогнутого, по 67, 8 выпуклаго зеркала. Радиусъ кривизны равенъ удвоенному фокусному разстоянію.

IV. Испытаніе плоскопараллельныхъ стеколъ

Если располагають хорошимъ плоскопараллельнымъ стекломъ, кладуть на него испытуемое: интерференціонныя полосы, выступающія особенно хорошо при освѣщеніи натріевымъ пламенемъ, должны идти прямолинейно и параллельно.—Чувствительнымъ методомъ испытания служить изслѣдованіе зеркальнаго изображенія солнца, отброшеннаго стекломъ на отдаленную стѣну: оно должно быть круглымъ и имѣть видимый діаметръ солнца. Если наблюдаются два круглыхъ изображенія, то обѣ поверхности, конечно, плоски, но не параллельны.

67. Фокусное разстояние

Фокусомъ F линзы называется точка, въ которой пересекаются по выходѣ изъ линзы лучи, падающіе параллельно ея оси. Разстояние фокуса отъ линзы, строго говоря отъ соответствующей главной плоскости линзы (см. стр. 166), называется фокуснымъ разстояніемъ. У каждой линзы два фокуса, но только одно фокусное разстояние. Въ разсѣивающихъ линзахъ фокусное разстояние отрицательно. Номеромъ очковъго стекла называютъ его фокусное разстояние, выраженное обыкновенно въ парижскихъ дюймахъ.

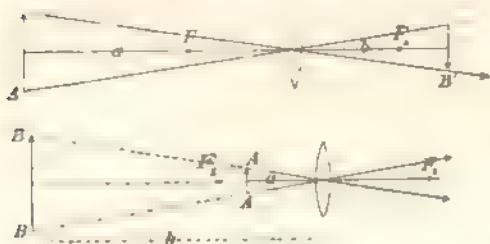
Свѣтосила линзы опредѣляется, какъ величина, обратная фокусному разстоянію. О линзѣ или системѣ линзъ, обладающей фокуснымъ разстояніемъ въ f метровъ, говорятъ, что свѣтосила ея равна $1/f$ диоптрій.

Фокусное разстояние f и свѣтосила $1/f$ опредѣляются обоими радиусами кривизны r и r' и показателемъ преломленія n линзы.

$$f = \frac{1}{n-1} \frac{rr'}{r+r'}; \quad \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right).$$

Для обыкновеннаго стекла можно положить $n = 1.5$ откуда приблизительно $\frac{1}{f} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$ и, если $r = r'$, то $f = r$. Радиусъ кривизны вогнутой поверхности входить съ отрицательнымъ знакомъ.

Отъ свѣтящагося предмета AA' образуется линзой изображеніе BB' , при-



чемъ собирающая линза (чертежъ) даетъ дѣйстви- тельное обращенное или мнимоеувеличенное и пря- мое изображеніе, смотря по положенію предмета въ или въ предѣлахъ фокуснаго разстоянія; раз- сѣивающая линза даетъ только мнимыя уменьшен-

ныя изображенія.

Разстоянія предмета a и изображенія b связаны между собою и фокус- нымъ разстояніемъ f соотношеніемъ

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \quad b = \frac{af}{a-f}.$$

Разстоянія мнимыхъ изображеній, а равно и фокусныя разстоянія расѣи- вающихъ линзъ выйдутъ сюда съ отрицательными знаками.

Величина изображенія BB' относится къ величинѣ предмета AA' всегда какъ разстояніе изображенія къ разстоянію предмета

$$BB' : AA' = b : a.$$

Зная съ показателя преломленія, фокусное разстояніе различно для разныхъ цвѣтовъ и строго говоря должно поэтому относиться къ одному определенному свѣту (ультрафиолетовый, красный светъ). Далѣе линзы диаметра не очень малы по сравненію съ фокуснымъ разстояніемъ, края обладаютъ меньшимъ фокуснымъ разстояніемъ, чѣмъ средняя часть. Первое обстоятельство обуславливаетъ цвѣтныя ореолы (хроматическая абберрація), второе — неясность изображеній (сферическая абберрація).

Центрировка. Важно, чтобы ось линзы (линія, соединяющая центры кривизны) была расположена въ направленіи отъ предмета къ изображенію, такъ какъ иначе разстояніе изображенія выйдетъ слишкомъ малымъ. Направленіе оси можно определить съ помощью небольшого пламени на подходящемъ разстояніи отъ линзы, если оба зеркальныя изображенія, видимыя въ передней и задней поверх- ностяхъ линзы, лежатъ всегда въ плоскости, проходящей черезъ глазъ, пламя и центръ линзы, то пламя находится на оси.

О вычисленіи фокусныхъ разстояній тонкихъ линзъ по кри- визнѣ поверхностей ср. пред. стр.

Опредѣленіе фокуснаго разстоянія собирающей линзы

1. Съ помощью солнца. Получаютъ линзой изображеніе солнца на кусочкѣ стекла и устанавливаютъ послѣдній такъ, чтобы

изображение было резко очерчено. Расстояние стекла от линзы равно фокусному расстоянию.

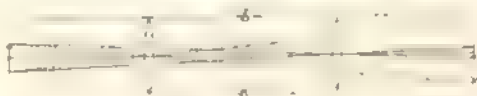
2. Съ помощью зрительной трубы. Труба устанавливается на отчетливое видение очень удаленного предмета. Если затѣмъ смотрѣть въ трубу черезъ линзу, поставленную предъ ея объективомъ, на какой-нибудь плоскій предметъ (напримѣръ, бумагу съ печатнымъ текстомъ), то послѣдній видѣнъ отчетливо, если расстояние его отъ линзы равно ея фокусному расстоянию.

Дальнозоркій можетъ произвести приблизительное измѣрение и безъ зрительной трубы. Стараются аккомодировать глаза на большое расстояние, смотря однимъ глазомъ мимо линзы на отдаленный предметъ, а другимъ разсматривая черезъ линзу какой-нибудь предметъ (острие карандаша). Предметъ видѣнъ отчетливо, если расстояние его отъ линзы равно фокусному расстоянию.

3. По расстояніямъ предмета и изображенія. На расстоянии a отъ линзы ставятъ источникъ свѣта или, лучше, жестяную ширму съ отверстиемъ и проволочнымъ крестомъ въ немъ, за которымъ помѣщаютъ пламя, а по другую сторону линзы бѣлый экранъ на такомъ расстояніи b , чтобы получилось отчетливое изображение источника свѣта или креста. О центрировкѣ смотри выше. Если f фокусное расстояние, то

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad \text{или} \quad f = \frac{ab}{a+b}.$$

4. По способу смѣщенія (Бессель). Если предметъ находится на постоянномъ расстояніи l отъ экрана, превосходящемъ учетверенное фокусное расстояние, то существуютъ два промежуточныхъ положенія линзы, въ



которыхъ она даетъ отчетливое изображение. Пусть расстояние между обоими положеніями, которое можно измѣрить точнѣе, чѣмъ расстоянія отъ линзы, равно d . Тогда фокусное расстояние линзы равно

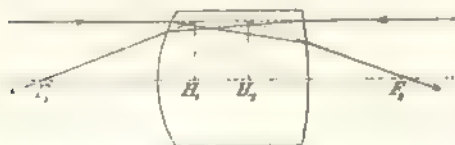
$$f = \frac{1}{4} (l^2 - d^2).$$

Предметомъ можетъ служить нитяный крестъ, а вмѣсто экрана—лупа съ нитянымъ крестомъ, причемъ о совпадении изображения перваго креста съ крестомъ лупы судить по отсутствію параллакса.

Доказательство. Расстоянія предмета и изображенія равны, очевидно, въ этихъ опытахъ $\frac{1}{2}(l+d)$ и $\frac{1}{2}(l-d)$. Отсюда вытекаетъ $\frac{1}{f} = \frac{2}{l+d} + \frac{2}{l-d} = \frac{4l}{l^2 - d^2}$, что и требовалось доказать.

5. По равенству предмета и изображения. Если изображение и предмет одинаковой величины, то расстояние между ними равно учетверенному фокусному расстоянию.

Главные точки. Если нельзя пренебречь толщиной линзы, предъ ея фокуснымъ расстоянiемъ и расстоянiями изображенiй, какъ принималось до сихъ поръ, то слѣдуетъ считать всѣ расстоянiя отъ двухъ точекъ H_1 и H_2 , называемыхъ главными точками и лежащихъ всегда симметрично относительно



обоихъ фокусовъ F_1 и F_2 . На чертежѣ, относящемся къ обыкновенному стеклу ($n=1.5$), H_1 соответствуетъ фокусу F_1 , а H_2 фокусу F_2 . Равновеликія расстоянiя $H_1 F_1$ и $H_2 F_2$ представляютъ фокусное расстоянiе f . (Въ

стеклянныхъ линзахъ, для которыхъ въ точности $n=1.5$ не слишкомъ толстыми $H_1 H_2$ равно трети толщины, поэтому при одинаковой кривизнѣ съ обѣихъ сторонъ главныя точки дѣлятъ толщину линзы на три равныя части). Линза дѣйствуетъ такъ, какъ если бы не было слоя между „главными плоскостями“, проходящими черезъ H_1 и H_2 . То же относится къ системамъ линзъ, у нихъ также двѣ главныя точки и только одно фокусное расстоянiе.

Слѣдующій методъ даетъ истинныя фокусныя расстоянiя линзъ и линзовыхъ системъ, не требуя знанiя положенiя главныхъ точекъ.

6. По величинѣ сильно увеличенныхъ или уменьшенныхъ изображенiй. а) Устанавливаютъ нѣсколько дальше фокуса ярко освѣщенный масштабъ, лучше всего стеклянный, въ проходящемъ свѣтѣ, а напротивъ, съ другой стороны линзы, бѣлый экранъ на такомъ расстоянiи l отъ линзы, чтобы на немъ получилось отчетливое сильно увеличенное изображенiе дѣлений. Если l длина одного дѣленія шкалы, L длина его изображенія, то

$$f = A \frac{l}{L+l}.$$

б) Устанавливаютъ, наоборотъ, на довольно большомъ разстоянiи отъ линзы рѣзко очерченный предметъ и измѣряютъ его сильно уменьшенное изображенiе по другую сторону линзы. Для этой цѣли служитъ микрометр на стеклѣ съ лупой предъ нимъ, которую устанавливаютъ такъ, чтобы дѣленія микрометра были отчетливо видны въ лупѣ одновременно съ изображенiемъ предмета. Въ написанной выше формулѣ l означаетъ тогда величину изображенія, L предмета, A разстоянiе послѣдняго отъ линзы.

Доказательство къ (а). Разстоянiя A и a изображенія и предмета отъ соответствующихъ главныхъ плоскостей линзы связаны формулой

$1/A + 1/a = 1/f$. Величины обоих относятся, как $L : l = A : a$. Вставляя въ первое уравнение $1/a = L/(lA)$ получаютъ предыдущее выражение. Такъ какъ A велико по сравнениюъ съ толщиной линзы, то можно взять вмѣсто разстоянія отъ главной плоскости измѣренное разстояніе отъ линзы.

Разсѣивающія линзы

7. Эти линзы не даютъ действительныхъ изображеній. Ихъ соединяють съ болѣе сильной собирающей линзой извѣстнаго фокуснаго разстоянія F' и измѣряють общее фокусное разстояніе F системы обѣихъ линзъ по одному изъ приведенныхъ выше методовъ. Отрицательное фокусное разстояніе f одной только вогнутой линзы находится тогда по формулѣ

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F'} \text{ или } f = \frac{FF'}{F' - F}.$$

8. Измѣряють величину круга разсѣянія, даваемого линзой отъ солнца на экранѣ, находящемся на опредѣленномъ разстояніи. Если d диаметръ отверстія линзы, D диаметръ круга разсѣянія, A разстояніе экрана отъ линзы, то

$$f = \frac{A d}{d - D + 0.0094 A}$$

0.0094 есть удвоенный тангенсъ видимаго радиуса солнца. При болѣе сильныхъ, не слишкомъ малыхъ линзахъ можно пренебречь 0.0094 A и получить простое правило: фокусное разстояніе линзы равно тому разстоянію экрана, при которомъ диаметръ круга разсѣянія вдвое больше диаметра линзы.

9. Астигматическія линзы обладаютъ двумя главными фокусными разстояніями, соответствующими обоимъ взаимно перпендикулярнымъ главнымъ сѣченіямъ. „Изображеніемъ“ свѣтящейся точки считается прямая, въ которую стягивается свѣтовой пучекъ и направление которой опредѣляетъ вмѣстѣ съ тѣмъ самую еще главнаго сѣченія. Обыкновенная линза, если держать ее очень наклонно, дѣйствуетъ, какъ астигматическая, фокусное разстояніе которой меньше, чѣмъ при прямомъ положеніи.

68. Увеличеніе и проч. оптического прибора

1. Лупа

Увеличеніемъ лупы называется отношеніе кажущейся величины предмета при разсматриваніи черезъ лупу къ величинѣ въ которой онъ представляется невооруженному глазу на разстояніи наилучшаго зрѣнія. Это увеличеніе не одинаково слѣдовательно для различныхъ глазъ.

Увеличение m вычисляется по фокусному расстоянiю. Именно, если обозначимъ через f фокусное расстояние, через A расстояние наилучшаго зрѣнiя для невооруженнаго глаза, то

$$m = 1 + A/f.$$

Для средняго глаза A полагается равнымъ 25 см.

Доказательство. Если маленькiй предметъ длины l положить подлужой на такомъ расстоянiи a , что его (мнимое) изображенiе кажется на расстоянiи A то $1/a = 1/A + 1/f$. Если длина изображенiя L , то увеличенiе равно $L/l = A/a = 1 + A/f$.

II. Зрительная труба

Увеличенiемъ называется отношенiе угла зрѣнiя подл которымъ представляется отдаленный предметъ въ зрительной трубѣ, къ углу, подл которымъ онъ виденъ невооруженнымъ глазомъ.

1. Слѣдующiй способъ применимъ во всѣхъ случаяхъ. Зрительная труба устанавливается на большемъ сравнительно съ ея длинной расстоянiи предл какимъ-нибудь масштабомъ (бумажная шкала, черепичная кровля, узоръ на обояхъ), на которомъ имѣются двѣ точки, достаточно замѣтныя для невооруженнаго глаза. Смотря въ масштабъ однимъ глазомъ черезъ трубу, другимъ мимо трубы такъ, чтобы изображенiя, видимыя обоими глазами, налагались другъ на друга. Если, такимъ образомъ, наблюдаемое прямо глазомъ расстояние между мѣтками покрываетъ n дѣлений масштаба, наблюдаемаго черезъ трубу, тогда какъ на самомъ дѣлѣ между ними заключается N дѣлений, то увеличенiе $m = N/n$.

Наблюдение облегчается, если установить трубу, выдвигая окуляръ, такъ, чтобы оба изображенiя возможно меньше смѣщались относительно другъ друга при поворачиванiи глазныхъ осей. Близорукiе должны, понятно, вооружаться очками.

2. Располагая сравнительно небольшимъ расстоянiемъ, можно поступать слѣдующимъ образомъ: устанавливаютъ трубу на очень удаленный предметъ, укрепляютъ затѣмъ предл ея объективомъ совсѣмъ слабую тонкую, выпуклую линзу (очковое стекло съ фокуснымъ расстоянiемъ около 2 м.) и устанавливаютъ подготовленную такимъ образомъ трубу предл масштабомъ на такомъ расстоянiи, чтобы его дѣленiя были отчетливо видны. Наблюдаютъ, какъ указано въ Нг. 1, обоими глазами. Если n дѣлений, видимыхъ въ трубѣ, совпадаютъ съ N дѣленiями, видимыми невооруженнымъ глазомъ, и

разстояние масштаба отъ объектива равно a , а отъ глаза A , то увеличение равно $(N/n) \cdot (a/A)$.

3. Къ зрительнымъ трубамъ съ выпуклымъ окуляромъ можно почти всегда примѣнять слѣдующій способъ. Установивъ на безконечность, замѣняютъ объективъ диафрагмой съ прямоугольнымъ вырѣзомъ. Оставшіяся линзы даютъ дѣйствительное изображение диафрагмы, величина котораго измѣряется предъ окуляромъ на стеклянномъ масштабѣ съ помощью лупы. Раздѣливъ истинную величину на величину изображения, получаютъ увеличение.

Вмѣсто диафрагмы можно воспользоваться отверстиемъ самого объектива, если только краевые лучи не задерживаются внутренними диафрагмами, что обыкновенно случается. Обнаружить это можно диафрагмой съ угловатымъ вырѣзомъ.

Доказательство для кеплеровой трубы. При установкѣ на безконечность разстояние объектива отъ окуляра равно суммѣ фокусныхъ разстояній $F + f$. Поэтому изображение диафрагмы находится на разстояніи $b = (F + f) / F$ предъ окуляромъ (стр. 163). Следовательно, $L / l = (F + f) / b = F / f$. Но F / f даетъ какъ извѣстно, увеличеніе.

Величина поля зрѣнія

Если истинное разстояние между двумя точками, видимыми на концахъ одного изъ диаметровъ поля зрѣнія, равно l , а разстояние ихъ отъ трубы есть a , то величина поля зрѣнія, выраженная въ дуговыхъ градусахъ, $= 57 \cdot 30 \cdot l/a$.

Для измѣренія можетъ служить отдаленный масштабъ. Если не располагаютъ большимъ разстояніемъ, то укрупняютъ, какъ указано въ Nr. 2, предъ зрительной трубой, установленной на безконечность, слабую собирательную линзу и отодвигаютъ масштабъ на разстояние отчетливаго при этихъ условіяхъ зрѣнія. Тогда a представляетъ разстояніе масштаба отъ линзы.

III. Микроскопъ

Здѣсь увеличеніемъ называется отношеніе угла, подъ которымъ виденъ небольшой предметъ въ микроскопѣ, къ углу, подъ которымъ онъ представляется глазу на разстояніи 25 см.

1. Способъ опредѣленія увеличенія аналогиченъ описанному въ II, 1. На столикъ микроскопа кладется объектъ извѣстной длины (объектънометръ). Возлѣ микроскопа, на 25 смъ ниже окуляра, кладутъ миллиметровый масштабъ. Смотря однимъ глазомъ въ ми-

крескомъ на объектъ, а другимъ на масштабъ, измѣряютъ, какъ въ II, 1, проекцію видимаго въ микроскопъ изображения на масштабъ. Если изображение покрываетъ N дѣлений, въ то время какъ на самомъ дѣлѣ въ длинѣ предмета заключается n дѣлений, то увеличеніе равно N/n .

Удобнѣе укрѣпить непосредственно передъ окуляромъ подъ угломъ въ 45° небольшое зеркало, слой котораго въ средней части удаленъ, а масштабъ установить на разстояніи 25 см вертикально, сбоку. Такимъ образомъ, однимъ и тѣмъ же глазомъ видятъ, черезъ зеркальное стекло, изображение объекта въ микроскопѣ и изображение масштаба, отраженное зеркаломъ.

Вмѣсто того, чтобы сравнивать изображение съ масштабомъ, можно также зарисовать его (спроектировать) на плоскости, помѣщенной на разстояніи 25 см отъ глаза и тогда уже измѣрить.

2. Относительно измѣренія длинъ микроскопомъ см 21.

69. Уголъ полной поляризации тѣла

Свѣтъ въ которомъ колебання не происходятъ, какъ въ обыкновенномъ, по нѣмъ направленнымъ съ одинаковой амплитудой, называется поляризованнымъ, направлениемъ поляризации называется, по Френелю направление наименьшей слагающей колебання. Если слагающая вовсе отсутствуетъ, т. е. свѣтовые колебання происходятъ только въ одной плоскости, то свѣтъ называется поляръ или прямолинейно поляризованнымъ. Прѣтѣйшій случай неполной поляризации представляетъ элли тически поляризованный свѣтъ, когда частицы эфира описываютъ эллипсы. Свѣтъ называется поляризованнымъ по кругу, если пути частицъ эфира — круги.

При отраженіи обыкновенный свѣтъ превращается вообще въ отчасти поляризованный, плоскость поляризации котораго совпадаетъ съ плоскостью паденія такъ какъ отражается преимущественно слагающая, параллельная отражающей поверхности. Свѣтъ, проникающій въ тѣло, поляризованъ, слѣдовательно, перпендикулярно къ плоскости паденія, но поляризация никогда не бываетъ полной. Отраженный свѣтъ поляризованъ въ плоскости паденія и тѣломъ въполнѣ для того угла паденія или преломленія, при которомъ лучъ входящій перпендикуляренъ къ отраженному. Отсюда слѣдуетъ если α этотъ „уголъ поляризации“ и n показатель преломленія зеркала,

$$n = \operatorname{tg} \alpha.$$

Если α извѣстно, n можетъ быть отсюда вычислено для стекла съ показателемъ 1.5 уголъ $\alpha = 56^\circ$. Обратно, измѣривъ α , получаютъ n , большой точности однако при этомъ нельзя ожидать.

Чтобы наблюдать явление, сѣщаютъ зеркало источникомъ свѣта, имѣющимъ достаточные размѣры въ направлении плоскости паденія напримѣръ,

прозрачной бумагой предъ пламенемъ или если плоскость падения вертикальна, длиннымъ газowymъ пламенемъ изъ горѣлки съ узкимъ отверстиемъ и наблюдаютъ отраженный свѣтъ черезъ николь, плоскость поляризации котораго (большая диагональ) перпендикулярна къ плоскости падения свѣта. При правильной установкѣ, въ полѣ зрѣнія видна размытая темная полоса, направление визирования соответствующее ей срединѣ, образуетъ съ нормалью къ зеркалу уголъ полной поляризации.

Уголъ полной поляризации ω для твердаго тѣла можно измѣрить, укрѣпивъ послѣднее на оси вращения гониометра (60, 61) такъ, чтобы ось лежала въ отражающей плоскости, которую наблюдаютъ зрительной трубой или просто глазомъ, зрительная ось котораго фиксирована посредствомъ мѣтки M за (прозрачнымъ) тѣломъ, черезъ неподвижно укрѣпленный николь, большая диагональ котораго параллельна оси вращения гониометра, вращаютъ плоскость до тѣхъ поръ, пока темное пятно не окажется на оси трубы или глаза. Сдѣлавъ отчетъ, ставятъ источникъ свѣта симметрично по другую сторону, поворачиваютъ соответственно плоскость, отыскиваютъ снова темное пятно и, вращая плоскость, приводятъ его опять на направление визирования. Уголъ поворота между обоими положениями равенъ 2ω . На рисункѣ изображена установка съ вертикальнымъ гониометромъ. Во второй части опыта ставятъ пламя справа.



Для жидкихъ поверхностей этотъ способъ не пригоденъ. Ихъ слѣдуетъ наблюдать посредствомъ приспособления для визирования, вращающагося съ николемъ въ вертикальной плоскости, ω равняется углу между вертикальною и направлениемъ, въ которомъ наблюдается темное мѣсто. Для большей точности измѣренія можно ставить жидкости и источникъ свѣта одинъ разъ слева, другой разъ справа, опредѣляя такимъ образомъ 2ω .

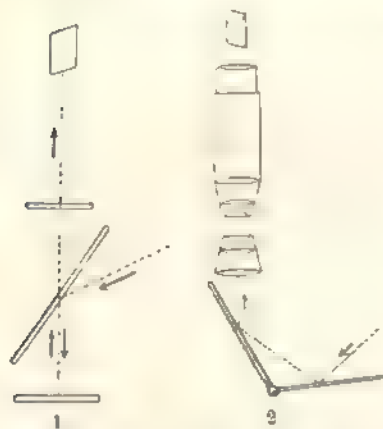
70. Поляризаціонный приборъ. Изслѣдованіе двоякопреломляющихъ тѣлъ. Кристаллы. Уголъ между оптическими осями

Поляризаціонный приборъ

Такъ называется соединеніе двухъ вращающихся поляризующихъ приспособленій. Приспособленіе, обращенное къ глазу, называется анализаторомъ, другое поляризаторомъ, въ специальномъ смыслѣ слова. Поляризаторами служатъ николевы призмѣ (плоскость поляризации у нихъ совпа-

даетъ съ бѣльшей диагональю), стеклянныя пластинки безъ зеркальной наводки, обыкновенно чернаго стекла отъ которыхъ заставляють отражаться свѣтъ подъ угломъ полной поляризации (около 56°), стопки изъ стеклянныхъ пластинокъ, черезъ которыя свѣтъ проходитъ подъ указаннымъ угломъ наклона; турмалиновыя пластинки, поглощающія избирательно одну изъ слагающихся колебания. Оба послѣднихъ средства поляризуютъ не вполне. Двоуклоупреомляющія призмы (изъ исландскаго шпата, кварца) разлагають свѣтъ на два луча, въ которыхъ колебания происходятъ по взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ происходящее одновременно швѣтораздѣленіе можно устрѣнить посредствомъ второй призмы, склеенной съ первой.

Въ обыкновенномъ поляризационномъ приборѣ Герренберга (черт. 1) въ качествѣ поляризатора пользуются прозрачной стеклянной пластинкой,



наклоненной подъ угломъ въ 56° къ горизонту. Падающій наклонно дневной свѣтъ поляризуется и отражается внизъ на горизонтальное зеркало, отбрасывающее его вверхъ; пройдя, съ нѣкоторымъ, конечно, ослабленіемъ, черезъ наклонную стеклянную пластинку, свѣтъ попадаетъ въ анализаторъ, никелеву призму на нашемъ чертежѣ. На горизонтальную стеклянную пластинку кладутся кристаллы и т. п.

Для нѣкоторыхъ цѣлей необходимо свѣтъ, идущій въ кристаллѣ по различнымъ направленіямъ („большое поле зрѣнія“). Тогда между кристалломъ и поляризаторомъ вставляются выпуклыя линзы (поляризационный ми-

кроскопъ Герренберга черт. 2). Наружное посеребренное зеркало служитъ только для освѣщенія и наклоняется соотвѣтственно положенію источника свѣта. Другое зеркало, стопъ нетосеребренныхъ стеклянныхъ пластинокъ, должно имѣть опредѣленный наклонъ. Въмѣсто него можетъ также имѣться внизу николь. Для изслѣдованія небольшихъ тѣлъ въ поляризованномъ свѣтѣ подъ обыкновеннымъ микроскопомъ вставляютъ одну никелеву призму между освѣтителнымъ зеркаломъ и тѣломъ, а другую кладутъ на окуляръ микроскопа.

Обыкновенно пользуются поляризационнымъ приборомъ со „скрещенными поляризаторомъ и анализаторомъ“, причемъ поле зрѣнія кажется темнымъ. Взаимно перпендикулярныя въ этомъ случаѣ плоскости поляризации поляризатора и анализатора называются „главными плоскостями“ прибора.

I. Изслѣдованіе двоякопреломляющихъ тѣлъ

Тѣло обладаетъ простымъ лучепреломленіемъ, если оно аморфно или принадлежитъ къ кристалламъ правильной системы; двойнымъ, если оно

принадлежитъ къ неправильной системѣ кристалловъ или приобрѣло неодинаковыя свойства въ различныхъ направленіяхъ по другимъ причинамъ давленію, натяженію, быстрому охлажденію. Свѣтъ въ нихъ разлагается на два потока волнъ, поляризованныхъ перпендикулярно другъ къ другу благодаря неодинаковой скорости распространения колебаній того и другого рода происходитъ какъ двойное преломленіе (ср. стр. 143), такъ и „интерференція“ въ поляризационномъ приборѣ, какъ только колебанія по выходѣ изъ кристаллической пластинки снова соединяются въ одну волну. Въ самомъ дѣлѣ, эта волна вообще находится въ иномъ состояніи поляризаціи, чѣмъ предшодомъ въ кристаллѣ, при введеніи котораго въ приборъ поле зрѣнія, слѣдовательно, мѣняется.

Въ каждомъ тѣлѣ—оставляя въ сторонѣ вращающія (71)—существуетъ по крайней мѣрѣ одно направленіе, въ которомъ свѣтъ распространяется не разлагаясь оно называется оптической осью. Въ аморфномъ тѣлѣ или въ кристаллѣ правильной системы каждое направленіе есть въ этомъ смыслѣ, оптическая ось. Другія тѣла обладаютъ или одной или двумя оптическими осями.

Обладаетъ ли прозрачное тѣло простымъ или двойнымъ преломленіемъ, опредѣляютъ, скрестивъ поляризаторъ и анализаторъ. Просто преломляющее тѣло оставляетъ поле темнымъ, кромѣ немногихъ, оптически вращающихъ (71) тѣлъ, не принадлежащихъ къ двоякопреломляющимъ, въ собственномъ смыслѣ. Двоякопреломляющее тѣло просвѣтляетъ поле зрѣнія, вообще окрашивая его.

Опредѣленіе направленія свѣтовыхъ колебаній въ пластинкѣ изъ двоякопреломляющаго вещества. Вставляютъ пластинку между скрещенными поляризаторомъ и анализаторомъ. Если середина всегда остается темной, то, значить, пластинка вырѣзана перпендикулярно къ оси. Въ противномъ случаѣ всегда существуютъ два отличающіяся на 90° положенія пластинки, при которыхъ поле зрѣнія или середина поля остаются темными. Въ этихъ положеніяхъ направленія колебаній въ обоихъ идущихъ въ пластинкѣ потокахъ волнъ совпадаютъ съ главными плоскостями прибора.

Д. Полярительные цвѣты. Во всякомъ другомъ положеніи пластинка кажется въ приборѣ черт. 1 белѣ или менѣ свѣтлой, причемъ въ достаточно тонкихъ пластинкахъ (двосточки гипса) появляется окрашеніе, зависящее отъ толщины и происходящее отъ того что различные цвѣты содержатся въ бѣломъ свѣтѣ, выступаютъ неодинаково сильно вслѣдствіе различія длины волнъ и скорости распространенія. Окраска выступаетъ наиболѣе интенсивно при поворотѣ пластинки на 45° отъ установочнаго темноты. Если установить поляризаторъ и анализаторъ параллельно повернувъ одинъ изъ нихъ на 90° , то все явленіе обратится, причемъ окраска въ каждомъ мѣстѣ переходитъ въ точно дополнительную.

II. Одноосные кристаллы

Къ нимъ принадлежатъ кристаллы гексагональной и квадратной системъ. Оптическая ось совпадаетъ съ главной кристаллографической осью. Плоскость, параллельная оптической оси, называется главнымъ сѣчениемъ. Примврами могутъ служить исландскій апатъ, азотнокислый натрій, турмалинъ, желѣзосинеродистый калий ($K_4Fe(CN)_6$), цедъ, кварцъ. О послѣднемъ см. однако 71.

Одно изъ двухъ колебаній, на которыя распадается свѣтъ, идущій въ кристаллѣ, слѣдуетъ обычному закону преломленія (обыкновенный лучъ), оно всегда перпендикулярно къ оптической оси и, слѣдовательно, къ главному сѣченію, проходящему черезъ обыкновенный лучъ („поляризованъ въ плоскости главнаго сѣченія“). Одна изъ установленныхъ выше плоскостей колебанія содержитъ слѣдовательно оптическую ось кристалла. Другое колебаніе происходитъ въ главномъ сѣченіи.

Кольцевая фигура. Вырѣзанная перпендикулярно къ оси пластинка вставляется между скрещенными поляризаторомъ и анализаторомъ. Срединѣ остается всегда темной. Въ приборѣ съ большимъ полемъ зрѣнія — турмалиновые шипцы, поляризаціонный микроскопъ — темнота распространяется отъ срединѣ вдоль главныхъ сѣченій прибора (темный крестъ); четыре квадранта пересѣкаются кольцами, поочередно свѣтлыми и темными — въ однородномъ свѣтѣ (красное стекло держать предъ глазами* и окрашенными въ бѣломъ. Въ оптически вращающихся тѣлахъ темный крестъ вообще не появляется. Чѣмъ тѣнѣ лежатъ кольца, тѣмъ



больше, при одинаковой толщинѣ пластинокъ, „двойное преломленіе“, т. е. разница въ скоростяхъ распространения обыкновеннаго и необыкновеннаго лучей.

При вращеніи анализатора на 90° окраска въ каждой точкѣ переходитъ въ дополнительную: крестъ становится свѣтлымъ, красныя кольца — зелеными, голубыя — желтыми и т. д.

Распознаваніе положительныхъ и отрицательныхъ кристалловъ

Кристаллы, въ которомъ необыкновенный лучъ преломляется сильнѣе обыкновеннаго, называется положительнымъ, въ противномъ случаѣ — отрицательнымъ.

Знакъ кристалла опредѣляется съ помощью слюдяной пластинки въ четверть волны, т. е. пластинки такой толщины, что оба колебанія (стр. 173) приобретаютъ разность хода въ $\frac{1}{2}$ длины волны. Слюдяную пластинку кладутъ или держатъ между кристаллической пластинкой и анализаторомъ и притомъ такъ, чтобы плоскость оптическихъ осей слюдяной пластинки, отмѣчаемая обыкновенно стрѣлкой, образовывала углы въ 45° съ главными плоскостями прибора. Тогда изслѣдуемая пластинка не даетъ больше темнаго креста съ одина-

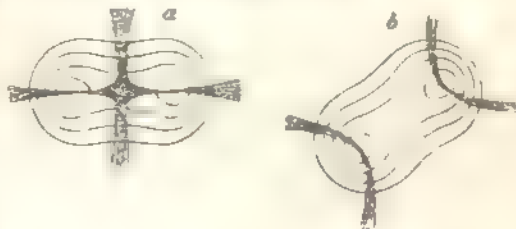
ковыми кольцевыми квадрантами, отрезки колец въ соседнихъ квадрантахъ смѣщены относительно другъ друга, а вблизи свѣтлаго теперь центра появляются два темныхъ пятна. Если эти пятна лежатъ въ плоскости оптическихъ осей слюдяной пластинки, то кристаллъ отрицателенъ, въ противномъ случаѣ положителенъ.

Объ измѣреніи показателей преломления смотри особенно 63.

III. Двуосные кристаллы Уголъ между оптическими осями

Кристаллы ромбической или одной изъ клиномѣрныхъ системъ обла- даютъ двумя оптическими осями. Уголъ между ними, зависящій отъ отно- шенія упругостей аѳера въ кристаллѣ, имѣетъ весьма различную, но опре- дѣленную для каждаго гѣла величину. Примеры: азотнокислый калий, ара- тоинитъ, талитъ, слюда, гипсъ, баритъ мѣдный купоросъ.

Кольцевыя фи уры. Пусть изъ двуоснаго кристалла вырѣзана пластинка перпендикулярно къ равнодѣляеивъ угла между осями. Въ уста- ковленномъ на темноту поляризаціонномъ приборѣ съ достаточно большимъ полемъ зрѣнія пластинка даетъ фигуру изъ лемянскаго, темныхъ и свѣ- лыхъ—въ однородномъ свѣтѣ (свѣтныя стекла держать предъ глазомъ'), окра- шенныхъ въ бѣломъ свѣ- тѣ, перестѣченныхъ тем- нымъ крестомъ или гипер- болическими темными вѣт- вями. Двѣ вершинныя точки гиперболъ, вокругъ которыхъ стягиваются ле- мянскаго, обозначаютъ оп- тическія оси кристалла. Если линія, соединяющая оба изображенія осей, совпадаетъ съ одной изъ главныхъ плоскостей при- бора, появляется темный крестъ (а). Если повернуть кристаллическую пла- стинку изъ этого положенія на 45° , появляются гиперболическія вѣтви, сим- метричныя относительно лемянскаго (b).



Измѣрение угла между оптическими осями

На чертежѣ изображено небольшое измѣри- тельное приспособленіе, состоящее изъ раздѣлен- наго круга на оси котораго укрѣпляется воскомъ или посредствомъ пробки кристаллическая пластинка и насаживаемое при помощи кольца на нижнюю часть прибора Нирренберга (серт. 2 стр. 172).



Отмѣчаютъ на кристаллической пластинкѣ направление, перпен- дикулярное къ линіи, соединяющей изображенія оптическихъ осей,

и укрепляют затѣмъ пластинку на оси раздѣленного круга такъ, чтобы это направленіе совпадало съ осью вращения.

Для установки въ направленіи оптическихъ осей наиболее удобна фигура *b*; такимъ образомъ, направляютъ ось вращения по равнодѣляющей прямого угла между скрещенными главными плоскостями поляризационнаго прибора. Устанавливаютъ одно изъ изображеній оптическихъ осей (вершинная точка гиперболы) въ направленіи



оси прибора (нитяный крестъ) и дѣлаютъ отчетъ на кругѣ. Уголь α , на который слѣдуетъ затѣмъ повернуть кругъ, чтобы на оси прибора оказалась другая вершинная точка, есть видимый или внѣшннй уголь осей, т. е. уголь между лучами, соответствующими волнамъ, идущимъ въ кристаллъ въ направленіи осей, по выходѣ ихъ въ воздухъ.

Если извѣстенъ средний главный показатель преломленія n свѣта въ кристаллѣ (63, I; табл. 19), то истинный уголь α_0 между оптическими осями кристалла находится изъ соотношенія (см. чертежъ)

$$\sin \frac{1}{2} \alpha_0 = (\sin \frac{1}{2} \alpha) / n.$$

Такъ какъ уголь между осями зависитъ отъ цвѣта, то при точныхъ измѣреніяхъ требуется свѣтъ опредѣленнаго рода, напримѣръ, свѣтъ натрѣваго пламени или краснаго стекла (Kupferglas), которое держать предъ глазомъ. Разность осевыхъ угловъ для различныхъ цвѣтовъ называется дисперсіей осей для этихъ цвѣтовъ.

71 Оптическая вращательная способность; сахариметрія (Bio)

Если темная нить зрѣнія поляризационнаго прибора становится свѣтлыми при вставкѣ прозрачнаго тѣла, то это тѣло или обладаетъ дѣйствительнымъ вращеніемъ или вращаетъ плоскость колебаній гетеризованнаго свѣта. Тѣло истинно рѣдъ называется „оптически дѣйствительнымъ“, если плоскость свѣтовыхъ колебаній повертывается въ сторону, противоположную вращенію прибора, и вращающаго въ обратномъ направленіи стрѣлки часовъ для воспринимающаго глаза.

Удѣльнымъ вращеніемъ α твердыхъ тѣлъ (кристалловъ) называютъ уголь вращенія, приходящійся на единицу длины тѣла черезъ которую пройдетъ свѣтъ. Для жидкостей и растворовъ оптически дѣйствительнаго тѣла въ недѣльномъ растворѣтѣ вращеніе свѣта къ единицѣ

массы вращающего тѣла. Если жидкость содержитъ въ 1 см³ массу κ граммовъ тѣла, и слой толщины l даетъ вращение α , то, следовательно, удѣльное вращение $[\alpha] = \alpha / (kl)$. Если удѣльный вѣсъ раствора κ , а процентное содержание вещества p , то $\kappa = \frac{p}{100}$, и, следовательно $[\alpha] = 100 \kappa / p \alpha$. Нормальной температурой считается обыкновенно 20°.

Удѣльное вращение обыкновенно нѣсколько измѣняется съ увеличеніемъ концентрации раствора, что принимаютъ въ расчетъ добавляя поправочные члены. Молекулярной вращательной способностью называется произведение удѣльнаго вращенія на молекулярный вѣсъ тѣла.

Вращение сильно зависитъ отъ цвета: болѣе преломляемый свѣтъ вращается сильнѣе: „дисперсія“ при вращеніи.

Сахарные растворы испытываются наиболѣе часто. Мы ограничимся приборами, служащими для этой цѣли. Вращение другихъ тѣлъ измѣряется такимъ же образомъ.

Удѣльное вращение раствореннаго въ водѣ тростниковаго сахара, почти независимое отъ температуры, равно для натрѣваго свѣта 66,5° см, α — уголъ вращенія α раствора, содержащаго въ 100 см³ 2 граммовъ сахара при толщинѣ слоя l дм, равенъ

$$\alpha = 0.6650 \cdot z l, \text{ откуда } z = 1.504 \alpha / l.$$

Для бѣлаго свѣта обыкновенно принимаютъ, въ среднемъ,

$$\alpha = 0.710 \cdot z l, \text{ откуда } z = 1.41 \alpha / l.$$

Кварцъ. Удѣльная способность вращенія въ направленіи оси равна 21.72° см для натрѣваго свѣта, при 20°, возрастающа на 0.013° при повышеніи температуры на 1°.

Дисперсія. Если принять вращение для натрѣваго свѣта за единицу, то вращенія для другихъ цвѣтовъ представляются въ среднемъ слѣдующими приближительными числами, одинаковыми съ болѣе высокими приближеніемъ для кварца и сахара:

Среднее	красный	желтый	зеленый	голубой	фиолетовый
вращеніе =	$\frac{7}{9}$	1	$\frac{4}{3}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{9}{4}$

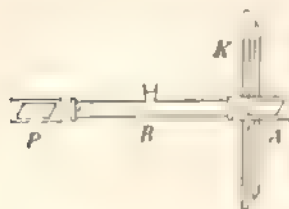
На основаніи этого, пользуясь известными данными для натрѣваго свѣта, можно разсудиться въ явленіяхъ сокращенія.

Приборы для измѣренія свѣтового вращенія (сахариметры) снабжены либо раздѣленнымъ кругомъ при анализаторѣ или поляризаторѣ на которомъ измѣряется вращеніе испытываемаго вещества (Митчерлиха), либо „компенсаторомъ“, кварцевыми клиньями, которые сдвигаютъ или раздвигаютъ до тѣхъ поръ пока они не уничтожатъ вращеніе, вызванное испытываемымъ веществомъ (Сесслей).

I. Поляриметры съ вращающимся николемъ

1. Поляриметръ Митчерлиха. Приборъ состоитъ изъ неподвижнаго поляризатора-николя P и анализатора — окулярнаго николя A , вращающагося на раздѣленномъ кругѣ K . Для дальнѣйшаго глаза не-

обходима кромѣ того слабая луна предѣ А или очки. Позади прибора ставятъ предѣ черной ширмой натриевое пламя. Голубоватый свѣтъ отъ пламени свѣтильнаго газа устраняется желтымъ стекломъ или растворомъ двухромовокислаго калия.



Вставляютъ между никелевыми призмами пустую или наполненную водою трубу и, вращая окулярный николь, затемняютъ среднюю часть поля зрѣнія. Затѣмъ вставляютъ трубу, наполненную сахарнымъ

растворомъ (очень равномерно размѣшаннымъ¹⁾), причемъ, при томъ же положеніи круга, поле зрѣнія становится свѣтлымъ. Число градусовъ, на которое слѣдуетъ повернуть анализаторъ вправо (въ направлении часовой стрѣлки), чтобы середина стала опять темной, и есть уголъ вращенія α .

Не слѣдуетъ слишкомъ сильно привинчивать пластинки, служащія для закрыванія трубокъ, такъ какъ происходящее отъ этого въ стеклѣ двойное преломленіе мѣшаетъ установкѣ.

Вращая одинъ изъ николей въ его оправѣ, можно привести нуль вращеній на нуль дѣлений круга.

Уголъ вращенія твердаго тѣла, напримѣръ, кварцевой пластинки, вырѣзанной перпендикулярно къ оси, измѣряютъ точно такъ же, какъ указано выше, помѣщая тѣло между николями. Оптическая ось кварца должна быть точно параллельной оси прибора, если желаютъ избѣгнуть грубыхъ ошибокъ. Устанавливаютъ пластинку по зеркальному изображенію глаза или небольшого пламени, которое держатъ предѣ глазомъ.

При наблюденіи въ бѣломъ свѣтѣ, въ виду того, что отдѣльные цвѣта претерпѣваютъ неодинаковое вращеніе, нельзя получить темноты, послѣ внесенія вращающаго раствора происходитъ лишь смѣна цвѣтовъ. Устанавливаютъ на „чувствительную окраску“, при которой погашается желтый цвѣтъ т е на фиолетовую окраску, представляющую довольно рѣзкій переходъ отъ голубой къ красной. При вычисленіи пользуются постоянной 1.41 (стр 177)

Сомнѣніе вращаетъ ли тѣло влѣво или вправо, разрѣшается тѣмъ, что при вращеніи окуляра въ надлежащую сторону чувствительная смѣна цвѣтовъ идетъ отъ голубого къ красному.

Усовершенствованіа въ поляриметрѣ Митчерлиха

2. Двойная кварцевая пластинка (бикварцъ). Предъ поляризаторомъ вставляются, строго перпендикулярно къ оси прибора, двѣ рядомъ расположенныя кварцевыя пластинки одинаковой толщины, лучше всего 3.75 мм., изъ которыхъ одна вращаетъ влѣво, другая вправо.

При скрещенныхъ или параллельныхъ николяхъ обѣ пластинки кажутся въ натрѣвомъ свѣтѣ одинаково яркими, въ бѣломъ свѣтѣ одинаково окрашенными. Пластинки толщиной въ 3.75 мм. даютъ при параллельныхъ николяхъ фиолетовую, такъ называемую чувствительную окраску; онѣ очень чувствительны и при наблюдении въ натрѣвомъ свѣтѣ, плоскость поляризации котораго поворачивается ими приблизительно на 80° .

По внесеніи вращающаго вещества обѣ половины кажутся неодинаковыми. Уголъ вращенія α вещества находится, какъ уголъ, на который слѣдуетъ повернуть окулярный николь для восстановленія равенства. Если вращеніе значительно, то двѣторазсѣяніе бѣлаго свѣта препятствуетъ достиженію полного равенства половинъ бикварца; въ этомъ случаѣ наблюдаютъ съ натрѣвымъ свѣтомъ.

3. Поляристрометръ (Вильдъ). Благодаря введенію въ приборъ пластинки Савара (два кварца или исландскихъ шпата, вырѣзанныхъ подъ угломъ въ 45° къ оси и сложенныхъ такъ, чтобы главныя сѣченія ихъ были скрещены и взаимно перпендикулярны), въ полѣ зрѣнія образуются полосы: темныя и свѣтлыя—въ однородномъ свѣтѣ, окрашенныя въ бѣломъ. Предварительно выдвигаютъ окуляръ настолько, чтобы эти полосы казались возможно болѣе рѣзкими.

Сахариметрическая установка производится на исчезновеніе полосъ посрединѣ поля зрѣнія, наступающее при четырехъ положеніяхъ анализатора, отличающихся другъ отъ друга на 90° , если главныя сѣченія поляризатора и пластинки Савара закрѣплены подъ угломъ въ 45° другъ къ другу. Въ новыхъ приборахъ можно, измѣняя этотъ уголъ, увеличивать чувствительность въ одной парѣ квадрантовъ на счетъ другой; въ этомъ случаѣ пользуются только болѣе чувствительными (темными) положеніями.

Въ приборахъ обыкновенно имѣется еще второй кругъ съ дѣленіями, который прямо даетъ содержаніе сахара въ граммахъ на литръ раствора, при употребленіи трубки длиной въ 200 мм.

4. Полутёневые приборы Поле зрѣнія раздѣлено на двѣ равныя части; въ каждой изъ нихъ свѣтъ поляризованъ, но направления колебаній s_1 и s_2 (чертежъ) различны. Нулевое положеніе анализатора есть то, при которомъ обѣ половины кажутся одинаково яркими, т. е. при которомъ плоскость колебаній A анализатора образуетъ равные углы съ плоскостями колебаній въ обѣихъ половинахъ поля зрѣнія.



Наибольшая чувствительность относительнаго измѣненія яркости получается въ томъ случаѣ, если направленія s_1 и s_2 мало отличаются одно отъ другого, а направление A дѣлитъ пополамъ тупой уголъ между ними; см. чертежъ. Однако ослабленіе яркости полагаетъ предѣлъ уменьшенію угла между s_1 и s_2 . Считаясь съ прозрачностью тѣла, вращеніе котораго измѣняется, подбираютъ установку, наиболее благоприятную въ смыслѣ наибольшей чувствительности при достаточной яркости поля зрѣнія.

Нулевое положеніе слѣдуетъ опредѣлять только послѣ этой регулировки.

Введя вращающее тѣло, снова устанавливаютъ на одинаковую яркость. α равно углу поворота, необходимому для восстановленія равенства яркостей обѣихъ половинокъ поля.

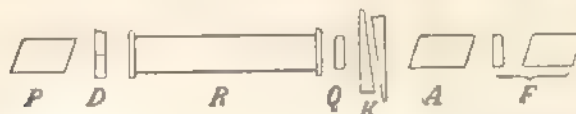
Полутѣневой сахариметръ Лорана, въ которомъ половина поля зрѣнія покрыта слюдяной или кварцевой пластинкой, требуетъ освѣщенія натріевымъ свѣтомъ.

Въ полутѣневомъ сахариметрѣ Липпиха раздѣленіе поля зрѣнія осуществляется посредствомъ поляризационныхъ гринчей, изъ которыхъ одна можетъ вращаться. Измѣняя установку призмъ, регулируютъ этимъ прежде всего чувствительность, сообразуясь съ яркостью освѣщенія и прозрачностью вращающаго тѣла, и только тогда опредѣляютъ нулевое положеніе. Примѣнять можно любой однородный свѣтъ.

II. Сахариметръ съ кварцевыми клиньями (Солейль)

Вращеніе плоскости поляризации сахарнымъ растворомъ можно компенсировать при помощи противоположно вращающейся кварцевой пластинки и притомъ не только для однороднаго, но и для любого свѣта, такъ какъ дисперсія въ кварцѣ и дисперсія въ сахарномъ растворѣ очень близки къ пропорциональности (стр. 177). Вращеніе въ сахарѣ находится по величинѣ смѣщенія кварцевыхъ клиньевъ, необходимаго для компенсаціи.

Описание сахариметра Солейя. Светъ вступаетъ въ приборъ черезъ поляризующий никель *P* и идетъ дальше черезъ бикварцъ *Q* (см. I 2). Затѣмъ слѣдуетъ трубка *R*, наполняемая растворомъ. Дальше — компенсаторъ



состоящий изъ правовращающей кварцевой пластинки *Q* и лѣвовращающихъ минералъ *K*, которые могутъ смѣщаться относительно другъ друга при помощи зубчатки, представляя такимъ образомъ лѣвовращающій кварцъ переменной толщины, въ некоторомъ среднемъ положеніи общая толщина ихъ равна толщинѣ праваго кварца *Q*, такъ что *Q* и *K*, вмѣстѣ взятые, не оказываютъ никакого дѣйствія. Это положеніе должно соответствовать нулевому дѣленію шкалы, связанной съ движущимъ механизмомъ. За компенсаторомъ слѣдуетъ николь анализаторъ *A*, плоскость поляризаціи, которая должна быть параллельна плоскости поляризаціи *P*.

Сахарные растворы и т. п. могутъ быть окрашены, съ другой стороны, не всѣ глаза чувствительны къ одной и той же смѣси цвѣтовъ, поэтому фиолетовая переходная окраска не всегда оказывается наиболѣе чувствительной. По этой причинѣ присоединяютъ обыкновенно еще регуляторъ окраски *F* со стороны, обращенной къ глазу (въ некоторыхъ приборахъ, наоборотъ, со стороны пламени), онъ состоитъ опять таки изъ кварцевой пластинки и вращающагося никеля, съ вращеніемъ котораго мѣняется окраска поля зрѣнія. На нулевую установку приборъ это вращеніе не оказываетъ никакого влияния.

Можно пользоваться для освѣщенія и натрѣвымъ свѣтомъ, причемъ устанавливаютъ на одинаковую яркость. Численные значенія дѣлений шкалы остаются приблизительно тѣ же.

Вставляютъ пустую или наполненную водой трубку, освѣщаютъ приборъ бѣлымъ пламенемъ или дневнымъ свѣтомъ и выдвигаютъ сперва соединенную съ окуляромъ небольшую зрительную трубу, не показанную выше на чертежѣ, настолько, чтобы половинки бикварца казались рѣзко ограниченными. Для получения наиболѣе подходящей окраски устанавливаютъ сначала, посредствомъ зубчатой рейки, на невполнѣ одинаковую окраску полукруговъ. Вращая регуляторъ цвѣта (см. выше), выбираютъ окраску, при которой контрастъ между полукругами наиболѣе рѣзкій.

Устанавливаютъ посредствомъ зубчатки на одинаковую окраску и дѣлаютъ отчетъ на шкалѣ, вводятъ сахарный растворъ, снова выдвигаютъ установку и дѣлаютъ отчетъ, повторяя объ установкахъ нѣсколько разъ.

Передвижение на 1 или 0,1 дѣления соответствует вращению натриевого свѣта

въ сахариметр Сольвей Вентцке на 0,3466°

Сольвей-Дюбоска „ 0,217°.

При употреблении трубки въ 2 см по этимъ даннымъ и по удѣльному вращению сахара (стр. 177) находить содержание сахара въ граммахъ (вѣсъ въ воздухѣ) на 100 см^3 раствора по формуламъ

Сольвей-В $\alpha = 0,290 \alpha$

Сольвей-Д $\alpha = 0,163 \alpha$,

гдѣ α передвижение компенсатора въ дѣленияхъ шкалы, при переходѣ отъ пустой трубки къ полной.

Для опредѣленія содержания чистаго сахара въ различныхъ сортахъ сахара получается, слѣдовательно, правило: приготавливать растворъ, содержащій 26,0 или 16,3 г сахара на 100 см^3 раствора, тогда передвижение масштаба показываетъ процентное содержание чистаго сахара.

Для повѣрки правильности дѣлений служить „нормальный растворъ“, содержащій 26,0 или 16,3 г чистаго сахара на 100 см^3 раствора: передвижение должно составлять въ этомъ случаѣ 100 дѣлений. Шкалы, значенія дѣлений которыхъ неизвѣстны, градуируются съ помощью сахарныхъ растворовъ извѣстнаго состава или кварцевыхъ пластинокъ.

Если нулевое дѣление шкалы должно соответствовать нулевому содержанию сахара, то ставить, при пустой трубкѣ, указатель на нуль и вращаютъ заднюю никелеву призму, пока половинки би-кварца не станутъ одинаково окрашенными.

Опредѣленіе содержанія сахара въ присутствіи другихъ вращающихъ веществъ

Понятіемъ оптическаго исключенія трубокъ изъ группы трубокъ на сахаръ вращающихъ веществъ (би-кварца, инвертированного сахара и др. декстрина) основано на томъ, что правоповертывающій тростниковый сахаръ превращается при кипяченіи въ смесь инвертированнаго сахара съ декстриномъ, вращающей декстриномъ.

Въ то время какъ въ растворахъ тростниковаго сахара предѣлы почти совершенно не зависятъ отъ температуры, въ растворахъ инвертированнаго сахара она имѣетъ довольно сильное вліяніе. Для инвертированнаго раствора 100 см^3 содержащаго до превращенія 2 г тростниковаго сахара на 100 см³ раствора вращаетъ вѣсковъ инвертированнаго натрия свѣта при температурѣ t на уголъ

$$[0,2330 - 0,00304 (t' - 20)] \cdot \alpha l.$$

Для определения вращения, производимого одним только сахаром, в растворах где могут содержаться другие вращающие вещества, употребляется следующий основанный на вышесказанном прием. Определив вращение (т. е. угол α или смещение a кварцевых клиньев) в обыкновенном растворе, беруть 100 см³ раствора, смешивают с 10 см³ концентрированной соляной кислоты и нагревают в течение 10 минут до 70°. (Охладив этот инвертированный раствор, наполняют им трубку, на одну десятую длиннее, чем первая (или, если пользуются той же трубкой, умножают наблюдаемый теперь угол на 1.1) и наблюдают происходящее теперь левое вращение α' (или a'). Пусть температура раствора при этом втором наблюдении t' . Чтобы, наконец, получить вращение, производимое одним только тростниковым сахаром, для α сумму $\alpha + \alpha'$ или $a + a'$ на $1.350 - 0.00457(t - 20)$.

Действительно, если левое вращение других (кроме сахара, вещество полагать равным β , имеем (стр. 177 и выше)

$$\alpha = 0.665zt + \beta$$

$$\alpha' = [0.2330 - 0.00304(t' - 20)]zt' - \beta.$$

Следовательно,

$\alpha + \alpha' = [0.8980 - 0.00304(t' - 20)]zt + [1.350 - 0.00457(t' - 20)] \cdot 0.665zt$, но $0.665zt$ есть как раз вращение производимое одним только сахаром.

Определение вращательной способности в спектрѣ

Освѣщая поляризационный приборъ (Митчерлиха) сложным (солнечным) свѣтомъ, можно разложить проходящий свѣтъ спектральнымъ приборомъ. Скрещенное положеніе николей характеризуется тѣмъ, что весь спектръ темнѣе. Виденіе вращающаго вещества просвѣтляетъ спектръ. Если повернуть анализаторъ, то въ спектрѣ появится темная полоса, чередующаяся при дальнѣйшемъ вращеніи отъ краснаго конца къ фиолетовому. Средняя этой полосы соответствуетъ вращѣнію погашенному свѣту. Следовательно, данное положеніе анализатора измѣряетъ уголъ вращенія этого свѣта.

72. Фотометрія

Излученіе свѣта отъ 34 свѣтлыхъ или ацетиленовыхъ свѣтосиригмента свѣча — сферическаго (НК), представляющаго собою свѣтъ изъ комбинаціи вращающаго анализатора и плоскаго николя (НК) — изъ круглаго флюиднаго диаметромъ 8 мм. Другими свѣтлыми служатъ въ Франц. лампа Карсена — 108 НК, въ Англіи термостатическая свѣча — 114 НК и изъ десятизначнаго пентагона лампа*, приблизительно = 11 НК.

Освѣщеніе поверхности, помѣщенной на разстояніи 1 метра отъ лампы Гейнера перпендикулярно къ лучамъ называется 1 метръ-свѣчей или 1 „Lux“-омъ.

Если источникъ свѣта представляетъ довольно большую поверхность, самосвѣтящуюся или разсѣивно отражающую свѣтъ, то ее поверхность той яркостью называется сила свѣта единицы поверхности въ нормальномъ направлении.

Основной измѣреній силы свѣта служить, въ соединеніи съ установкой на одинаковую яркость вѣчнымъ образомъ законъ убавленія яркости освѣщенія пропорціонально квадрату разстоянія отъ источника свѣта. Если, слѣдовательно, два источника свѣта I и II дадутъ одинаковое освѣдненіе на разстояніяхъ r_1 и r_2 , то силы свѣта ихъ относятся какъ

$$i_1 : i_2 = r_1^2 : r_2^2. \quad (1)$$

Если II есть лампа Гейнера, то I обладаетъ, слѣдовательно, силой $i_1^2 : i_2^2$ НК.

При различіи въ окраскѣ оптика равенства яркостей зависитъ отъ субъективности сужденія.

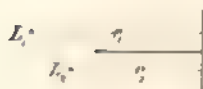
При оптическимъ переходѣ въ нормальномъ направленіи изъ воздуха въ обыкновенное стекло яркость ослабляется издѣстие отраженія приблизительно на 4%.

Сравненіе источниковъ свѣта

1. Тѣневой фотометръ (Румфордъ). Предъ бѣлымъ экраномъ ставятъ непрозрачный, не слишкомъ тонкій стержень. Источники свѣта устанавливаются такъ, чтобы обѣ тѣни стержня лежали вплотную рядомъ. Разстоянія подбираются затѣмъ такимъ образомъ, чтобы обѣ тѣни казались одинаково темными, причемъ слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы оба свѣтовыхъ пучка падали на экранъ въ области тѣней подъ равными углами. Разстоянія считаются отъ каждаго источника до тѣни, отбрасываемой другимъ. Тогда имѣетъ мѣсто предыдущее уравненіе (1).

2. Освѣщеніе двухъ поверхностей. Двѣ одинаковыя поверхности небольшой величины освѣщаются подъ равными углами источниками свѣта L_1 и L_2 , разстоянія которыхъ r_1 и r_2 подбираются

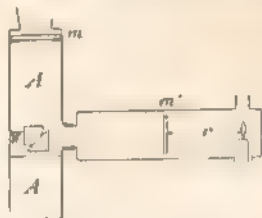
$$L_1 \quad \angle \quad L_2$$



такъ, чтобы обѣ поверхности казались одинаково яркими. Посторонний свѣтъ слѣдуетъ здѣсь устранить. Поверхности можно ставить подъ угломъ другъ къ другу, освѣщая ихъ снаружи и наблюдая въ направленіи равноудящій угла между ними (черт. 1), или же раздѣлить ихъ

перегородкой и наблюдать въ проходящемъ свѣтѣ (черт. 2).

Въ фотометръ съ молочнымъ стекломъ Л. Вебера освѣщаются два молочныхъ стекла, одно постояннымъ вспомогательнымъ пламенемъ, другое сперва однимъ затѣмъ другимъ источникомъ свѣта (чертежъ). Фотометричный кубъ II располагаетъ изображенія стеклъ рядомъ. Подбирая разстояние r , достигаютъ одинаковой яркости. Этотъ же фотометръ позволяетъ измѣрять яркость освѣщенія поверхностей при любомъ положеніи послѣднихъ, для чего, удаливъ пластинку m , направляють вращающуюся трубу A на поверхность.

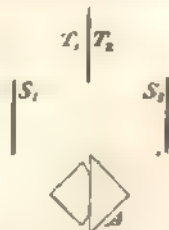


3. Сравнение падающаго свѣта съ проходящимъ (Бунзенъ). На небольшой экранъ изъ прозрачной бумаги наносить жирное или стеариновое пятно въ формѣ кольца или дѣлають кольцообразную наклейку изъ тонкой бумаги, благодаря чему прозрачность экрана въ этомъ мѣстѣ становится иной.



Съ одной стороны экрана устанавливають въ неизмѣнномъ разстояніи постоянный источникъ свѣта (маленькое газовое пламя постоянной высоты; бензиновая или керосиновая лампа, зажженная приблизительно за полчаса до начала опыта; электрическая калильная лампа при постоянномъ напряженіи). Оба сравниваемые источника свѣта ставятся по очереди по другую сторону экрана на такихъ разстояніяхъ r_1 и r_2 , чтобы различныя части экрана казались одинаково яркими. Угломъ, подъ которымъ смотрять на кругъ, вліяетъ на кажущуюся яркость, необходимо, слѣдовательно, смотрѣть подъ однимъ и тѣмъ же угломъ.

Фотометричный кубъ (Луммеръ и Бродхунъ). И здѣсь сравниваются проходящій и отраженный свѣтъ, но безъ погрѣшностей, вносимыхъ прозрачнымъ материаломъ. Два прямоугольныя призмы сложены гипотенузами и крѣпко прижаты другъ къ другу, края одной изъ нихъ шлифованы, вследствие чего онѣ касаются лишь посредннѣ, причемъ соприкосновение полное, никакого отраженія не происходитъ, и кубъ здѣсь совершенно прозраченъ, по краямъ же происходитъ полное внутреннее отраженіе отъ гипотенузы другой призмы. Справа и слева отъ



одинакового съ обѣихъ сторонъ бѣлаго экрана T ставятся сравниваемые источники свѣта, λ_1 и λ_2 одинаковыя зеркала. Смотря черезъ грань A , видятъ сторону T_1 экрана въ свѣтъ, прошедшемъ сквозь средину, T_2 —въ свѣтъ, претерпѣвшемъ полное отражение у краевъ. Разстоянія r_1 и r_2 источниковъ L_1 и L_2 отъ T_1 и T_2 подбираются такъ, чтобы средина и края казались одинаково яркими. тогда опять $L_1 : L_2 = r_1^2 : r_2^2$.

Сравнение очень различныхъ силъ свѣта. Сравниваютъ каждый изъ обонхъ источниковъ свѣта съ третьимъ, постояннымъ, яркость котораго выбирается, лучше всего, приблизительно равной среднему геометрическому изъ обѣихъ силъ свѣта.

Ослабление посредствомъ дымчатыхъ стеколъ. Дымчатое стекло является простѣйшимъ средствомъ ослабить силу свѣта въ опредѣленномъ отношеніи. Чтобы это отношеніе опредѣлить, сравниваютъ между собою, по одному изъ предыдущихъ методовъ, два постоянныхъ источника свѣта, одинъ разъ непосредственно, а затѣмъ ослабленный одинъ изъ нихъ введеннымъ дымчатымъ стекломъ. Частное отъ дѣленія обонхъ результатовъ представляетъ искомое отношеніе.

Поляризационные фотометры Если поляризованный свѣтъ проходитъ черезъ какойнибудь поляризаторъ, плоскости поляризации котораго не совпадаютъ съ плоскостью поляризации свѣта, то свѣтъ этотъ ослабляется и притомъ, въ отношеніи $\cos^2 \varphi$. Если φ уголъ между плоскостями поляризации. Въ фотометрии различнаго образца пользуются этимъ средствомъ измѣнять силу свѣта съ любымъ извлеченіемъ измѣряемому образцу.

Спектрофотометрія Задача сравненія силъ свѣта двухъ источниковъ можетъ считаться рѣшенной, строго говоря, только въ томъ случаѣ, если сравнены другъ съ другомъ силы свѣта отдельныхъ испускаемыхъ ими инфинитесимальныхъ лучей. Для этой цѣли можетъ служить спектральный приборъ со щелью, одна половина которой можетъ быть по желанію расширяема и суживаема сравнительно съ другой измѣряемымъ образомъ. Каждая изъ половинъ освѣщается однимъ изъ сравниваемыхъ источниковъ свѣта, установленныхъ на одинаковыхъ разстояніяхъ, благодаря чему образуется два соприкасающихся спектра одинъ надъ другимъ. Если регулировкой щели уравнять яркости въ какомъ-нибудь мѣстѣ (швѣтъ) спектра, то силы свѣта для этого швѣта спектра приблизительно обратно пропорциональны ширинамъ половинокъ щели. Большия разницы въ яркости смягчаются предварительно дымчатыми стеклами (см. выше).

Определение коэффициента абсорбции спектрофотометром.

Если в светномъ "токъ" при прохождении имъ слоя тѣла толщиной d поглощается небольшое количество σ свѣта, т. е. $(\sigma/d) = k$ называется коэффициентомъ абсорбции тѣла для данного свѣта. k зависитъ отъ свѣта. Если при прохождении слоя толщиной l приходится значительная абсорбция, то интенсивность i вступавшаго свѣта уменьшается до величины

$$i' = i \cdot e^{-A d}.$$

Если k и i' измѣренъ, находятъ, слѣдовательно,

$$k = \frac{1}{d} \log \text{nat} \frac{i}{i'} = \frac{1}{d} 2.30 \cdot \log \text{brigg} \frac{i}{i'}.$$

Измѣряютъ k спектрофотометромъ, закрывая одну изъ половинъ щели абсорбирующимъ тѣломъ. Однако, помимо абсорбции, происходятъ потери свѣта, благодаря отраженію при вхогѣ и выхогѣ. Чтобы исключить это, ставятъ одновременно предъ второю толщиною тѣла безвѣднѣе, такъ же отражающее тѣло, напримѣръ, при растворахъ окрашенныхъ веществъ сосудъ съ растворителемъ, при жидкостяхъ стеклянныхъ пластинахъ тонкое бесцвѣтное стекло или пропускать два наблюдениа съ слоями различной толщины, при чемъ для d при вычисленіи, разность толщинъ, тогда какъ k и i сохраняютъ силы свѣта при прохожденіи тонката и толстаго слоя.

МАГНИТИЗМЪ

О магнитныхъ единицахъ см. 1, №. 19—21.

73. Горизонтальная составляющая напряженія земного магнетизма (Гауссъ)

Знать эту величину необходимо при измѣреніи съ помощью магнитной стрѣлки нѣкоторыхъ магнитныхъ и электрическихъ величинъ.

Напряженіемъ магнитной силы или силой магнитнаго поля въ данномъ мѣстѣ называется сила, дѣйствующая въ этомъ мѣстѣ на магнитный полюсъ равный единицѣ. Единичный же полюсъ опредѣляется тѣмъ, что на равномъ себѣ полюсъ на разстояніи единицы онъ дѣйствуетъ съ силою 1 динъ (ср. 1 № 7) CGS-единица силы поля называется 1 гауссъ.

На обыкновенную магнитную стрѣлку дѣйствуетъ горизонтальная составляющая H силы поля. Измѣреніе H состоитъ изъ двухъ частей — изъ наблюденія пера — изъ колебанія и изъ наблюденія отклоненія. Первое наблюденіе даетъ, если измѣтены моменты инерціи колеблющагося магнита, при изведеніи $\Phi = MH$ изъ магнитнаго момента M на интенсивность H . Частію же Σ MH находятъ, наблюдая отклоненіе магнитной стрѣлки тѣмъ же самымъ магнитомъ. По Φ и Σ можно вычислить величины M и H каждую въ отдельности. Методъ можетъ служить слѣдовательно, и для опредѣленія магнитнаго момента стержня.

Въ способѣ Гаусса для опредѣленія MH наблюдаются два отклоненія, съ различныхъ разстояній, проще довольствоваться отклоненіемъ съ одного только разстоянія, но при этомъ слѣдуетъ ввести „разстояніе полюсовъ“ магнита. При наблюденіи дѣйствій на разстояніи, исходящихъ отъ прямыхъ стержней можно считать, что магнитнымъ сосредоточеніемъ въ двухъ точкахъ, называемыхъ полюсами. Въ обыкновенныхъ магнитахъ эти полюсы стоятъ отъ концовъ приблизительно на $\frac{1}{12}$ всей длины. Разстояніе полюсовъ магнита составляетъ слѣдовательно, $\frac{5}{6}$ всей длины.

H въ средней Европѣ колеблется около значенія 0.2 гаусса (табл. 23). При измѣреніи обыкновенными приборами точность въ 0.001 можно назвать удовлетворительною. Избѣжать вредныхъ вѣншихъ вліяній со стороны со- сѣднихъ желѣзныхъ массъ, тамъ значеніе, взятое изъ таблицы 23, по большей части будетъ имѣть такую именно точность; въ зданіяхъ же, въ которыхъ однимъ изъ строительныхъ матеріаловъ было желѣзо, мѣстные вліянія часто оказываются значительными. При измѣреніи H надо слѣдить за тѣмъ, чтобы не было непредвидѣнныхъ и не поддающихся учету вліяній (напримѣръ,

отъ вещей, находящихся въ карманѣ или ящикѣ стола отъ лимиталетовъ отъ гвоздей, скрѣпляющихъ столъ, отъ проволокъ въ переплетѣ записной книжки, отъ стальныхъ очковъ).

I. Опредѣленіе MH изъ колебаній

Подвѣшиваютъ магнитъ на нити. Пусть t будетъ періодъ колебанія, приведенный къ безконечно малому размаху (28), K моментъ инерціи магнита (29), Θ коэффициентъ кручения нити (77); тогда искомое произведеніе

$$\Psi - MH = \frac{\pi^2 K}{t^2 (1 - \Theta)}.$$

Ибо направляющая сила есть $MH (1 - \Theta)$, а квадратъ періода колебанія, дѣленный на π^2 , дастъ отношеніе момента инерціи къ направляющей силѣ (1, №. 12).

II Опредѣленіе MH изъ отклоненій

Тѣмъ же самымъ магнитомъ производить отклоненіе магнитной стрѣлки съ опредѣленнаго, измѣреннаго разстоянія r ; при этомъ, для исключенія асимметріи, помѣщаютъ магнитъ по ту и другую сторону отъ стрѣлки. Избираютъ одно изъ слѣдующихъ „основныхъ положеній“.

Первое основное положеніе		r — центръ буссоли, NS — магнитный меридіанъ. Магнитъ, какъ изображено на рисункѣ, по слѣдовательно помѣщаютъ въ двухъ положеніяхъ, къ востоку и къ западу отъ стрѣлки на одной съ нею высотѣ. Полагаемъ $r = \frac{1}{2}ab$. Это разстояніе должно равняться по меньшей мѣрѣ утроенной длинѣ магнита.
a	b	
N	S	

Пусть, напримѣръ, магнитъ находится въ a . Наблюдаютъ отклоненіе, примемъ производить отчетъ на обоихъ концахъ стрѣлки и берутъ среднее. Потомъ поворачиваютъ магнитъ на 180° , оставляя его средину попрежнему въ a , и такъ же, какъ и прежде, наблюдаютъ отклоненіе. Изъ двухъ найденныхъ значеній снова выводятъ среднее. Это будетъ уголъ отклоненія, соответствующій положенію a . Если дѣленія на буссоли идутъ не въ обѣ стороны отъ нулевого положенія, а проходятъ черезъ это положеніе, то, разумѣется, легче производить вычисленіе, вычитая оба отчета одинъ изъ другого и беря половину этого двойного угла. Смотри примѣръ.

Точно такъ же поступаютъ при положеніи h и затѣмъ берутъ среднее изъ двухъ приблизительно равныхъ отклоненій, наблюденныхъ для того и другого положенія. Это значеніе, полученное изъ восьми отчетовъ, обозначимъ черезъ ϕ .

Отчитываніе обоихъ концовъ стрѣлки исключаетъ эксцентричность ея оси вращения относительно круговыхъ діеленій буссоли, перекладываніе магнита исключаетъ несимметричность его намагниченія, для самой стрѣлки то же самое достигается отклоненіемъ ея съ двухъ сторонъ, притѣмъ одновременно стпается неточность совпаденія ея оси вращения съ центромъ. Въ то же время точность увеличивается еще и такъ, какъ она увеличивается при каждомъ посмѣкратномъ повтореніи однѣго и того же отчета.

Для вычисленія MH введемъ разстоянія полюсовъ χ магнита и l стрѣлки; разстоянія эти слѣдуетъ положить равными $\frac{1}{2}$ всей длины магнита и стрѣлки. Вычисляемъ поправочную постоянную η (ср. I, 20):

$$\eta = \frac{1}{2} \chi^2 + \frac{1}{2} l^2$$

Тогда искомое частное

$$\Sigma = \frac{M}{H} = \frac{1}{2} \frac{1}{1 - \eta} \operatorname{tg} \phi.$$

Второе основное положеніе. Магнитъ, производящій отклоненія, кладутъ на равныхъ разстояніяхъ къ сѣверу и къ югу отъ буссоли c , производятъ наблюденія такъ же, какъ и раньше, a — и вычисляютъ среднее значеніе ϕ . Пусть опять $r = \frac{1}{2} ab$.

Для второго основного положенія $\eta = -\frac{1}{2} \chi^2 + \frac{1}{2} l^2$. Вычисляютъ по предыдущей формулѣ, но безъ множителя $\frac{1}{2}$.

Изъ $\Phi = MH$ и $\Sigma = \frac{M}{H}$ находятъ

$$H = \frac{1}{2} \frac{\Phi}{\Sigma} \quad b —$$

Примѣръ. I. Опредѣленіе MH .

Моментъ инерціи. Прямоугольный магнитный стержень имѣлъ въ длину 10 см. и въ толщину 1.25 см. Вѣсъ его былъ 119.86 г. Согласно 29,
 $K = 119.86 (10.00^2 + 1.25^2) \cdot 12 = 1014.4 \text{ см}^2 \text{ г.}$

Коэффициентъ крученія нити. Полный оборотъ нити произвелъ вращеніе магнита на 1.4° . Отсюда (77) $\Theta = \frac{1.4}{360 - 1.1} = 0.0039$.

Періодъ колебанія. По наблюденію онъ оказался $\tau = 7.414 \text{ сек.}$, при дугѣ колебанія въ 30° . Слѣдовательно, по приведеніи къ бесконечно малымъ дугамъ (28; табл. 15)

$$t = 7.414 - 7.414 \cdot 0.0043 = 7.382 \text{ сек.}$$

Итакъ, имѣемъ

$$MH = \frac{\pi^2 K}{t^2 (1 + \Theta)} = \frac{3.1416^2 \cdot 1014.4}{7.382^2 \cdot 1.0039} = 183.01 \text{ см}^2 \text{ г/сек}^2.$$

II Определение M и H .

Тотъ же магнитъ произвелъ отклоненіе буссоли, буссоли положенъ на разстояніи 30 м къ востоку отъ перваго основного положенія. При перекладываніи магнита было отчитано

	1-ый конецъ	2-ой конецъ
N-полюсъ къ буссоли	112.5°	292.4°
S-полюсъ къ буссоли	67.6	247.7
	$\varphi = 22.15^\circ$	22.35°

При отклоненіи съ запада, какъ же среднее равно 22.08

Общее среднее $\varphi = 22.54^\circ$; $\lg \varphi = 0.4150$.

Магнитъ имѣлъ въ длину 100 стрѣлокъ 20 м такъ, что разстоянія полюсовъ были $r_1 = 10.833$ м и $r_2 = 10.7$ м, откуда $\eta = \frac{r_1^2}{r_2^2} = 1.326$ см². На основаніи всего этого

$$\frac{M}{H} = \frac{1}{2} \frac{r^3 \lg \varphi}{1 + \eta} = \frac{1}{2} \frac{27000 \cdot 0.4150}{1 + 32.6} = \frac{11205}{1.0362} = 5406 \text{ см}^3.$$

Наконецъ, $H = \sqrt{\frac{183.01}{5406}} = 0.1840 \text{ см}^{-1} \text{ сек}^{-1}$ или гауссовъ.

Гауссовскій приемъ. Вмѣсто того, чтобы предполагать извѣстными разстоянія полюсовъ, наблюдаютъ отклоненія φ и φ' при двухъ разстояніяхъ r и r' ; такимъ образомъ поправочная постоянная η исключается. Именно, въ этомъ случаѣ искомое нами частное $\frac{M}{H}$

при первомъ основномъ положеніи $\frac{M}{H} = \frac{1}{2} \frac{r^3 \lg \varphi - r'^3 \lg \varphi'}{r^2 - r'^2}$ или $\frac{M}{H} = \frac{1}{2} \frac{r^3 \lg \varphi - r'^3 \lg \varphi'}{r^2 - r'^2}$ при второмъ (безъ множителя $\frac{1}{2}$)

Доказательство для короткой стрѣлки въ первомъ основномъ положеніи. Если магнитъ, направленный съ запада на востокъ, отклоняетъ короткую стрѣлку, находящуюся на его продолженіи, не слишкомъ маломъ разстояніи, то уголъ φ то $(1, 21) \lg \varphi = \frac{2}{r^2} \frac{M}{H} (1 + \eta)$ или $r^2 \lg \varphi = \frac{2}{H} \frac{M}{H} (1 + \eta)$

$\frac{M}{H} (r^2 - r'^2)$, тѣмъ η для каждаго магнита постоянна. Для другого разстоянія r' точно такъ же $r'^2 \lg \varphi' = \frac{2}{H} \frac{M}{H} (1 + \eta)$. При вычитаніи этихъ двухъ равенствъ η выпадаетъ и получается результатъ, приведенный выше.

Зеркальный отчетъ. Если отклоненія измѣряются магнитометромъ, снабженнымъ зеркаломъ и шкалой (25), а такой способъ имѣетъ преимущество въ томъ отношеніи, что разстоянія можно брать больше и все-таки получать хорошо измѣримыя отклоненія, то коэффициентъ крученія θ (77) магнитометра вводятъ въ вычисленіе, умножая тангенсы на $1 + \theta$.

74. Временныя измѣненія земного магнетизма

Направление и сила земного магнитнаго поля испытываютъ незначительныя, неправильныя, по большей части медленно протекающія колебанія, колебанія эти, мы не говоримъ о чрезвычайныхъ сѣверныхъ возмущеніяхъ возникающихъ во время сѣверныхъ сияній и т. п. явленій, въ нашихъ широтахъ могутъ достигать для напряженія приблизительно 2 процента а для склоненія около 1 дугового градуса. Наблюденіе ихъ важно не только для самого земного магнетизма но еще и для тонкихъ магнитныхъ и электрическихъ измѣреній, при которыхъ въ особенности слѣдуетъ исключать колебанія склоненія.

Врѣмныя вліянія широкоразвѣтвленныхъ земныхъ токовъ, происходящихъ отъ электрическихъ трамваевъ съ наземной проводкой, даже на разстояніи въ нѣсколько километровъ обыкновенно превосходятъ колебанія земного магнетизма и протекаютъ столь внезапно и неправильно, что исключить ихъ нельзя.

Измѣненія склоненія

Ихъ измѣряютъ посредствомъ магнитометра, т. е. при помощи магнита подвѣшеннаго на нити и снабженнаго зеркальцемъ, въ которомъ наблюдается отраженіе горизонтальной шкалы. Пусть разстояніе шкалы отъ зеркала, измѣренное въ дѣленіяхъ шкалы, т. е., какъ обыкновенно, въ мм., μ . Въ такомъ случаѣ смѣщеніе изображенія относительно креста нитей на μ дѣлений шкалы означаетъ вращеніе на уголъ $\mu (2.1)$ въ абсолютной мѣрѣ или на $1719. \mu$ дуговыхъ минутъ (25). Вслѣдствіе того, что нить при этомъ закручивается, наблюденныя движенія слѣдуетъ умножать на $1 + \Theta$, гдѣ Θ коэффициентъ крученія (77).

Измѣненія напряженія

Для измѣренія ихъ служитъ подвѣшенный магнитъ, могущій вращаться горизонтально и принужденный висѣть перпендикулярно къ магнитному меридіану, последнее достигается либо способомъ его подвѣшиванія обыкновенно бифилярнымъ, либо приближеніемъ постоянныхъ магнитовъ. Отчетъ производится опять-таки посредствомъ зеркала и шкалы.

Назовемъ черезъ E то измѣненіе напряженія, которое отвѣчаетъ повороту стрѣлки на 1 дѣленіе шкалы, при этомъ пусть E выражено въ частяхъ самого напряженія. Слѣдовательно, если установкѣ на дѣленіи p соответствуетъ напряженіе H , то установкѣ p будетъ соответствовать

$$H' = H[1 + E(p - p_0)].$$

Определение значения шкалы E действуют на вариометръ съ сѣвера или съ юга магнитомъ, положеннымъ на одной высотѣ съ вариометромъ, на большомъ разстоянн, въ сѣверо-южномъ направленн, и производять отчетъ. Затѣмъ повертываютъ магнитъ на 180° и снова производять отчетъ; пусть разность обоихъ отчетовъ составляетъ n дѣлений шкалы; тогда цѣна одного дѣления шкалы

$$E = \frac{1}{n} \cdot \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{M}{H}.$$

M есть магнетизмъ отклоняющаго магнита, достаточно, однако, знать лишь отношенне его къ земному магнетизму, что по 73 II или 76 достигается посредствомъ простого отклонення.

Доказательство. Магнитъ M , действуя съ большого разстоянн r , въ своихъ двухъ положеннхъ увеличиваетъ или уменьшаетъ напряженне H на $\pm M/r^3$. Такъ какъ при перекладыванн M установка измѣняется на n дѣлений шкалы, то 1 дѣленне шкалы обозначаетъ измѣненне на $4M/\pi n^3$ или, въ доляхъ самого напряження, на $4M/(\pi n^3 H)$, что и требовалось доказать.

При продолжительныхъ наблюденнхъ приходится вводить еще поправки на температуру, ибо магнетизмъ стержня на каждый $+1^\circ$ уменьшается по меньшей мѣрѣ на нѣсколько десятитысячныхъ.

75. Сравненне горизонтальной составляющей въ двухъ мѣстахъ

Мѣстные влиянн, порожденные соседствомъ желѣзныхъ массъ, при физическихъ измѣреннхъ важны главнымъ образомъ по той причинѣ, что они участвуютъ на горизонтальной составляющей силъ дѣйствн.

Сравненне наблюдениемъ колебанн

Одну и ту же магнитную стрѣлку заставляютъ колебаться въ томъ и другомъ мѣстѣ, напряження обратно пропорциональны квадратамъ периодовъ колебанн.

Сравненне наблюдениемъ отклоненн

Для грубаго опредѣлення устанавливаютъ буссоль въ томъ и другомъ мѣстѣ и отклоняють ее магнитомъ съ опредѣленнаго разстоянн. Если отклоненн равны α_1 и α_2 , то

$$H_1 : H_2 = \operatorname{tg} \alpha_2 : \operatorname{tg} \alpha_1.$$

Переносный вариометръ

Приборъ этотъ имеетъ большую чувствительность, благодаря тому, что стрѣлка здѣсь ставляется почти на 90° . Если буссолью находится магнитъ мощнн, вращающійся между двумя не движущимися задержками, то



проходящая посрединѣ между задержками, должна быть параллельна меридиану. Будучи прислоненъ къ той или другой задержкѣ, магнитъ долженъ устанавливать стрѣлку буссоли въ двухъ положеніяхъ каждый разъ располагая ее по восточно-западному направлению, этому требованію слѣдуетъ удовлетворить заранѣе установкой магнита на подходящей высотѣ и перемѣщеніемъ задержекъ.

Ставить вариометръ въ одномъ изъ двухъ подлежащихъ сравненію мѣстъ (I) и съ помощью уровня дѣлать его ось вращения вертикальной.

Затѣмъ достигаютъ правильнаго ориентированія въ меридианѣ, устанавливая магнитъ посрединѣ между задержками и вращая весь инструментъ до тѣхъ поръ пока стрѣлка не станетъ параллельной магниту.

Наконецъ, прислоняютъ магнитъ сначала къ одной, потомъ къ другой задержкѣ. Условимся считывать острие стрѣлки всегда на той сторонѣ буссоли, гдѣ дѣленія возрастаютъ къ сѣверу. Пусть сѣверный полюсъ стрѣлки устанавливается здѣсь на дѣленіи p_n ; послѣ переключенія магнита южный полюсъ тамъ же пусть показываетъ на p_n ; то и другое въ дуговыхъ градусахъ. Положимъ, что разность $p_n - p_n = \delta$.

На мѣстѣ II продѣлываютъ то же самое; указанная разность пусть имѣетъ здѣсь значеніе δ_2 .

Если φ означаетъ половину угла поворота между двумя задержками, то относительная разность земныхъ магнитныхъ полей въ томъ и другомъ мѣстѣ, при малыхъ δ_1 и δ_2 , выразится такъ:

$$\frac{H_1}{H_2} = [0.0087 \lg \varphi] \cdot (\delta_1 - \delta_2) = C \cdot (\delta_1 - \delta_2).$$

Переводный множитель $C = 0.0087 \lg \varphi$ получаетъ для $\varphi = 29.8^\circ$ удобное значеніе 0.0050.

Докладъ П. П. Павлова, черезъ I горизонтальную силу, возникающую отъ магнита на томъ мѣстѣ, гдѣ находится буссоль I дѣйствуетъ всегда горизонтально магниту и если дѣлать поворотъ на уголъ φ , то въ сѣверъ пойдешь направленною дѣть силъ полную $I \cos \varphi$ а въ востокъ — $I \sin \varphi$. Дѣйств. пусть H_0 означаетъ то измѣщеніе земного магнитнаго поля, которое какъ разъ компенсируется посредствомъ $I \cos \varphi$ т. е. при которомъ стрѣлка устанавливается въ точности въ восточно-западномъ направленіи слѣдовательно $I \cos \varphi = H_0$, а $I \sin \varphi = H_1$ (гдѣ означать силу поля (своей цѣли) отъ магнита удерживающую стрѣлку въ восточно-западномъ направленіи).

Въ мѣстѣ I существуетъ сила земного магнитнаго поля H_1 , следовательно, здѣсь часть $H_1 - H$ не компенсируется. Эта часть отклоняетъ стрѣлку изъ восточно-западнаго положенія на уголъ ϵ_1 , который черезъ упомянутое выше напряженіе H , $\operatorname{tg} \phi$ удерживающее стрѣлку, выражается посредствомъ равенства

$$\operatorname{tg} \epsilon_1 = (H_1 - H_0) / (H_0 \operatorname{tg} \phi), \quad \text{откуда} \quad (H_1 - H_0) / H_0 = \operatorname{tg} \phi \operatorname{tg} \epsilon_1$$

Соотвѣтствующее выраженіе будемъ имѣть и для мѣста II. Такъ какъ ϵ_1 и ϵ_2 означаютъ наклонъ $\frac{1}{2} \delta_1$ и $\frac{1}{2} \delta_2$, и такъ какъ вследствие малости угла можно положить $\operatorname{tg} \frac{1}{2} \delta = \frac{1}{2} \delta$ (вѣроятно $\delta = 37.3^\circ$ и $\operatorname{tg} \frac{1}{2} \delta = 0.0087 \delta$ (5) равн. 10) то легко получается приведенная выше формула.

Температура. Если можно сдѣлать отчеты въ различныхъ мѣстахъ быстро одинъ вслѣдъ за другимъ, то лучше всего держать температуру магнита постоянной, окружая его въ случаѣ надобности нагой или войлокомъ. Въ противномъ случаѣ слѣдуетъ вводить температурныя поправки.

76. Опредѣленіе магнитнаго момента

Просто и легко производятся импровизированныя опредѣленія на основаніи методовъ сводящихъ магнитный моментъ стержня къ земному магнетизму. Магнитизмъ стержневыхъ магнитовъ убываетъ на каждый 1° температуры на $\frac{1}{2000}$ — $\frac{1}{1000}$ смотря по стержню. По причинѣ этого, а также вслѣдствіе измѣненія со временемъ, рѣдко претъвляются требованія большой точности. Поэтому съ достаточной точностью можно воспользоваться для данного мѣста горизонтальной статующей II, взятой изъ табл. 23.

Опредѣленіе изъ отклоненій

Пусть магнитный стержень въ первомъ основномъ положеніи (1, 20 и 73 II) отклоняетъ стрѣлку съ разстоянія r на уголъ ϕ . Относительно точнаго опредѣленія ϕ посредствомъ отчета обоихъ концовъ стрѣлки, перекалыванія магнита и отклоненія съ двухъ сторонъ см. стр. 189 и примѣръ стр. 191.

Если разстояніе r велико по сравненію съ длиною магнита, то магнитный моментъ (1, 20)

$$M = \frac{1}{2} r^3 H \operatorname{tg} \phi$$

Въ противномъ случаѣ снова (стр. 190) называемъ черезъ φ и ρ разстоянія полюсовъ магнита и стрѣлки (ѣхъ длины), вычисляемъ $\eta = \frac{1}{2} \varphi^2 - \frac{1}{2} \rho^2$ и дѣлимъ вышеприведенное M на $(1 + \eta / r^2)$.

При измѣреніяхъ во второмъ основномъ положеніи множитель $\frac{1}{2}$ отпадаетъ и въ случаѣ надобности вводится $\eta = \frac{1}{2} \varphi^2 - \frac{1}{2} \rho^2$.

Метровая линейка, деленная на см и расположенная с востока на запад (для 2-го основного положения с сѣвера на югъ), съ находящейся посрединѣ ея буссолью, по большей части достаточна для измѣреній. Если имѣется въ распоряженіи магнитометръ (или зеркальный гальванометръ), установленный подходящимъ образомъ, то отклоненіе можно измѣрить точнѣе и въ то же время взять разстояние настолько большимъ, что ни въ какой поправкѣ нѣтъ надобности. За $\text{tg } \varphi$ можно съ достаточнымъ приближеніемъ (25) принять отклоненіе, деленное на удвоенное разстояние шкалы и умноженное на $(1 + \Theta)$, гдѣ Θ означаетъ коэффициентъ кручения нити (77).

Опредѣленіе наблюденіемъ колебаній

Для магнитнаго стержня правильной формы моментъ инерціи K (29) можно вычислить, а изъ періода колебанія t получается

$$M = \frac{\pi^2 K}{t^2 H (1 + \Theta)}.$$

„Удельнымъ магнетизмомъ“ или „намагниченіемъ“ стержня называютъ магнитный моментъ единицы объема. Удельный магнетизмъ стержня съ моментомъ M и объемомъ v см³ равняется, слѣдовательно, M/v . Даже при очень благоприятной формѣ постоянныхъ стальныхъ магнитовъ, т. е. при магнитахъ относительно очень тонкихъ, удѣльный магнетизмъ можетъ достигать въ лучшемъ случаѣ лишь 700 CGS на 1 см³ или 100 на 1 г стали.

77 Коэффициентъ крученія подвѣшеннаго магнита

Благодаря нити, служащей для подвѣшивания, къ магнитной направляющей силѣ H_m прибавляется еще упругая H_s . Отношеніе $H_s/H_m = \Theta$ называется коэффициентомъ крученія (Torsionsverhältnis). Отклоненіе, испытываемое магнитомъ, становится поэтому въ $(1 + \Theta)$ разъ меньше, а періодъ колебаній въ $\sqrt{1 + \Theta}$ разъ больше чѣмъ, при дѣйствіи одной только магнитной направляющей силы.

Чѣмъ легче магнитъ, тѣмъ меньше можно сдѣлать коэффициентъ крученія, ибо подвѣсная сила нити возрастаетъ пропорціонально квадрату, а моментъ крученія — пропорціонально 4-ой степени толщины. Тонкыя нити изъ вѣнцѣвыхъ листовъ жемчуга или тонкыя клѣпчатая нити часто даютъ коэффициентъ крученія исчезающе малой величины.

Чтобы опредѣлить Θ , сообщаютъ нити измѣренное крученіе α и наблюдаютъ новую установку магнита; пусть она отличается отъ первоначальной на уголъ φ . Тогда

$$\Theta = \varphi'(\alpha - \varphi)$$

Если нѣтъ крутильнаго круга, то поворачиваютъ магнитъ на полный оборотъ, ничего не измѣняя въ верхнемъ прикрѣпленіи, при этомъ слѣдуетъ положить $\alpha = 360^\circ$.

Отклоненіе ϵ при разстояніи шкалы A означаетъ уголъ $\varphi = 57.3^\circ \cdot \epsilon$ (2.1). Если α равняется полному обороту, то вычисленіе производить, полагая просто $\alpha = 2\pi = 6.28$ и $\varphi = \epsilon$ (2A).

78. Магнитное склоненіе. Измѣреніе угловъ буссолю

Табл. 23 содержитъ западное склоненіе для географическихъ долготъ и широтъ средней Европы, т. е. тотъ уголъ, на который съзерный полюсъ стрѣлки уклоняется къ западу. Числа таблицы не болѣе чѣмъ на $\frac{1}{2}$ градуса уклоняются отъ тѣхъ, которые получаются въ дѣйствительности на открыткахъ мѣстахъ. Поэтому съ умѣренной точностью можно опредѣлить астрономическій азимутъ по магнитной стрѣлкѣ.

Напримѣръ, можно опредѣлить направление стѣны и т. п., прикладывая къ ней буссоль, коробка которой ограничена прямыми линиями; можно опредѣлить направление горизонтальной линіи, проектируя ее на дѣленія поставленной надъ ней буссоли; направление луча зрѣнія къ отдаленному предмету или уголъ между двумя такими лучами; въ послѣднемъ случаѣ къ буссоли присоединяется діоптръ или подзорная труба.

Обратно, можно опредѣлить склоненіе, если направление стѣны линіи и т. п. извѣстно. Разсматривать точные способы опредѣленія склоненія здѣсь не мѣсто.

Вліяніе тренія на острѣ уменьшаютъ слабыми встряхиваніями буссоли предъ отчетомъ стрѣлки.

Предъ употребленіемъ карманной буссоли слѣдуетъ на нее толкнуть, чтобы избавиться отъ возможнаго электрическаго заряда.

79. Магнитное наклоненіе

Уголъ, который направленіе земной магнитной силы образуетъ съ горизонтомъ (въ средней Европѣ уголъ этотъ составляетъ $60^\circ - 70^\circ$) называется угломъ наклоненія. Направленіе магнитной силы можетъ дать магнитная стрѣлка, способная вращаться въ магнитномъ меридіанѣ, центръ тяжести ея долженъ лежать на горизонтальной оси вращенія.

Инclinаторъ состоитъ изъ вертикальнаго раздѣленнаго круга, который устанавливается въ магнитномъ меридіанѣ съ помощью буссоли, и изъ магнитной стрѣлки, вращающейся внутри этого круга. Вслѣдствіе эксцентричности отчеты производятъ всегда по обоимъ концамъ стрѣлки и изъ долей градуса берутъ среднее. Если есть

возможность, то слѣдуетъ производить отчеты не тогда, когда стрѣлка установится неподвижно, а отчитывать поворотныя точки малыхъ колебаній, и отсюда выводить положеніе равновѣсія стрѣлки, какъ это дѣлается у вѣсовъ; влияние тренія при этомъ слабѣе.

Разстановка цифръ на кругѣ у разныхъ инструментовъ различна. Мы принимаемъ, что во всѣхъ квадрантахъ счетъ идетъ отъ горизонтальной черты, которая и принимается за нулевую.

Нулевое дѣленіе инклинометра съ неподвижнымъ кругомъ устанавливаютъ при помощи отвѣса, спускающагося съ верхняго дѣленія. Въ инструментѣ съ вращающимся кругомъ ось вращенія должна быть вертикальна; признакомъ этого служить то, что пузырекъ находящагося при инструментѣ уровня при всѣхъ положеніяхъ круга остается на одномъ и томъ же мѣстѣ (30, 1).

Возможное уклоненіе магнитной оси стрѣлки отъ ея геометрической оси и отъ центра тяжести, положеніе котораго неизвѣстно, требуетъ перекладыванія стрѣлки (причемъ мѣняются передняя и задняя ея стороны) или, если кругъ вращается, поворачиванія его вмѣстѣ со стрѣлкой на 180° . Однако продольное смѣщеніе центра тяжести относительно оси вращенія этимъ не исключается. Поэтому необходимо стрѣлку перематничивать и снова наблюдать въ двухъ положеніяхъ.

Такимъ образомъ получаютъ четыре угла наклоненія. Заранѣе предполагаемъ, что они мало отличаются другъ отъ друга, истинный уголъ наклоненія получается, какъ среднее арифметическое изъ четырехъ значеній.

При этомъ предполагается, что магнетизмъ стрѣлки до и послѣ перематниченія ея одинаковъ, этого почти можно достигнуть, старательно и каждый разъ одинаково натирая тонкую стрѣлку.

Натирание стрѣлки. Берутъ стрѣлку за одинъ конецъ по близости отъ ея оси вращенія, прикладываютъ другой конецъ къ полюсу магнита и проводятъ стрѣлку по полюсу магнита до самаго острія, примерно такъ, какъ показано на рисункѣ. Такимъ образомъ натираютъ, направляя обѣ поверхности одного конца по два раза, а



тѣмъ обѣ поверхности другого конца по четыре раза и наконецъ обѣ поверхности снова по два раза.

Объ опредѣленіи наклоненія посредствомъ земного индуктора см. 109.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

80. О гальванических работах вообще

1. Законы, связывающіе силу тока i , электродвижущую силу или напряжение E и сопротивление r

Единицы

Единицы построенны на основании Веберовских определений абсолютной системы мѣръ, припадены, посредствомъ умноженія на нѣкоторую степень 10, къ величинамъ, удобнымъ для практическихъ примененій (ср. 1, 22, 24 и 27). Такимъ путемъ получаются

для силы тока	1 амперъ	10^{-9} Веберовскихъ CGS-единицъ
для сопротивленія	1 омъ	$= 10^9$ " " "
для напряженія или электро- движущей силы	1 вольтъ	$= 10^8$ " " "

1 милливольтъ 10^{-8} вольтъ, 1 микровольтъ 10^{-10} вольтъ и т. д.

Трудность абсолютныхъ измѣреній побудила ввести въ законодательномъ порядкѣ силу тока къ электрохимическому эквиваленту и соотвѣственно къ ртутн. слѣдующимъ образомъ (международныя единицы)¹⁾

Сила въ одинъ амперъ обладаетъ постоянный токъ, отложившій въ секунду 1.118 мг серебра

1 протитненемъ 1 омъ обладаетъ столбъ ртутн въ 1063 и дмшн въ 1 м² поперечнаго сѣченія при 0° Этотъ столбъ вѣситъ 14.4521

1 омъ = 10⁹ единицъ Сименса = 10⁹ единицъ Брит. Асс

Изъясненіе, 1 вольтъ есть электродвижущая сила или напряжение производящее въ сопротивленіи 1 омъ токъ въ 1 амперъ

Законы Ома

1. Сопротивленіе цилиндра нѣкотораго діамн d и поперечное сѣченіе q , вдоль котораго течетъ равномернo распределенный въ немъ токъ равняется

$$r = \frac{l}{\kappa q} \quad \text{или} \quad r = \frac{l}{\sigma q}$$

$\frac{1}{\kappa}$ называютъ электропроводностью всего цилиндра κ называется электро-

¹⁾ Одно время омъ опредѣлялся, какъ 1060 и Hg 0° („металлическій омъ“, „металлическій вольтъ“ былъ, слѣдовательно тоже приблизительно на $\frac{1}{3}$ меньше истиннаго.

проводностью (или удельной электропроводностью), $\frac{1}{\kappa}$ или σ — удельным сопротивлением вещества проводника.

В таблицах 20 и 21 даны κ и σ , отнесенные к ому , см и см^2 , для обычно употребляемых проводников; для чистой меди, например, $\sigma = 0.0000172$. Сопротивление медной проволоки длиной l м, т. е. $l = 100 \text{ л. см.}$, и диаметром d мм, т. е. с поперечным сечением $q = (0.05 \text{ л. см.})^2 \cdot \pi = 0.00785 \text{ л. см}^2$, составляет, следовательно, $w = 0.0000172 \cdot \frac{100 \text{ л.}}{0.00785 \text{ л.}^2}$

$0.022 \text{ л. л.}^2 \text{ ома}$. Один кубический сантиметр раствора серной кислоты, при наибольшей электропроводности $\kappa = 0.74$ имеет при 18° сопротивление $w = 1/0.74 = 1.35 \text{ ома}$.

О сопротивлении других форм см. 96, введение.

2. Общее сопротивление нескольких проводников, расположенных последовательно, равно сумме их сопротивлений.

3. Электродвижущая сила постоянной цепи равна разности потенциалов или напряжению между ее полюсами в разомкнутом состоянии. Общая электродвижущая сила всей цепи равна алгебраической сумме отдельных электродвижущих сил.

1. Сила тока i в замкнутой цепи равна электродвижущей силе E , деленной на сопротивление w цепи: $i = E/w$.

Равенство $i = E/w$ или $E = iw$ справедливо также для проводника с сопротивлением w , который сам по себе не содержит электродвижущей силы; в этом случае под E следует разуметь разность потенциалов или напряжений между двумя концевыми точками w (так называемое потребление потенциала током i в сопротивлении w); сравни, например, доказательство равенства Витстона в 93.

Разветвление тока Если ток J разветвляется на несколько путей с сопротивлениями w_1, w_2, \dots , и если отдельные разветвленные токи соответственно равны i_1, i_2, \dots , то справедливы следующие положения 5, 6 и 7 (см. верхний из рисунков на след. стр.):

5. Сумма разветвленных токов равна неразветвленному току

$$i_1 + i_2 + \dots = J.$$

6. Отдельные разветвленные токи обратно пропорциональны сопротивлениям соответствующих путей (или прямо пропорциональны электропроводностям путей):

$$i_1 : i_2 : \dots = \frac{1}{w_1} : \frac{1}{w_2}$$

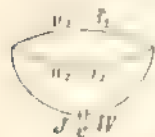
7. Общая электропроводность разветвленного пути равна сумме электропроводностей отдельных путей, т. е. равна $\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2}$. Два параллельно включенных сопротивления w_1 и w_2 составляют, следовательно, вместе путь с сопротивлением $w_1 w_2 / (w_1 + w_2)$.

Правила Кирхгофа. Положения 2—7 совмещаются в следующих двух:

А Въ каждой точкѣ развѣтвленія сумма силъ токовъ равна нулю, если приписать противоположные знаки входящимъ и уходящимъ токамъ.

В Если взять любую замкнутую въ самой себѣ часть цѣпи и приобидѣ считать въ ней электротѣкающая сила и токи въ одномъ направленіи положительными, въ другомъ отрицательными, то сумма произведеній отдѣльных сопротивленій на соответствующія силы тока равна суммѣ электродвижущихъ силъ.

1-й примѣръ. Простое развѣтвленіе тока.



по правилу А

$$i_1 + i_2 = J,$$

и правилу В

$$i_1 R_1 + i_2 R_2 = 0 \text{ и } J W = i_1 R_1 = i_2 R_2.$$

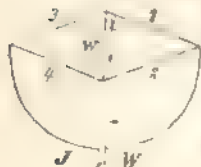
Изъ этихъ равенствъ слѣдуетъ

$$J = \frac{e}{W} = \frac{e}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}} = \frac{e R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad i_1 = \frac{e R_2}{R_1 + R_2}, \quad i_2 = \frac{e R_1}{R_1 + R_2} \text{ и т. д.}$$

такъ что, напримѣръ, $J = \frac{e}{R_1 + R_2}$, $i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} J$, $i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} J$.

2-ой примѣръ.

Витонное соединеніе, обозначивъ отдѣльные развѣтвленные токи и сопротивления соответственно цифрами чертѣжъ получимъ



$$J = i_1 + i_2 = 0$$

$$J W = i_1 R_1 - i_2 R_2 = e$$

$$i_1 R_1 - i_2 R_2 = 0$$

$$i W - i_2 R_2 + i_1 R_1 = 0$$

$$i_1 R_1 - i_2 R_2 = 0$$

$$i_1 R_1 - i_2 R_2 = 0$$

откуда, напримѣръ, для случая, когда сила тока въ мостѣ $i = 0$, получается

$$R_1 : R_2 = R_3 : R_4.$$

II. Возбудители тока

Амалгамирование цинка. Сперва придаютъ цинку чистую металлическую поверхность механическимъ путемъ или погруженіемъ въ сѣрную (лучше въ соляную) кислоту, а затѣмъ натираютъ ртутью или погружаютъ цинкъ въ растворъ хлористой или азотнокислой ртути. Послѣ употребленія цинкъ слѣдуетъ тотчасъ же очистить щеткой или сполоснуть водою.

Глиняные сосуды. Сосуды, послѣ употребленія, споласкиваютъ водою, даютъ водѣ фильтроваться сквозь пахъ и погружаютъ сосуды въ воду. При составленіи элемента глиняный сосудъ слѣдуетъ смочить сначала не растворомъ мѣднаго купороса или азотной кислоты, а сѣрной кислотой. Сѣрную кислоту надо излить такъ, чтобы она образовала столбъ нѣсколько болѣе выскочивъ, чѣмъ другая, болѣе тяжелая жидкость (на 10 или 15 всего столба) съ тою цѣлью, чтобы внутреннѣ послѣднимъ проникновению въ цинку.

Сѣрная кислота. Для цинка оказывается подходящимъ растворъ приблизительно въ 30-мъ H_2SO_4 на триъ воды, удѣльный вѣсъ 1.13. Въслѣдствіе разорѣзанія приливаютъ кислоту къ водѣ медленно и при непрерывномъ помѣшиваніи. Въ аккумуляторахъ (кислота чистая!) въ заряженномъ состояніи удѣльный вѣсъ долженъ быть 1.16 въ незаряженномъ 1.13.

Растворъ мѣднаго купороса. Приблизительно 1 часть кристаллической соли на 3 части воды. Токъ потребляетъ растворъ, въслѣдствіе чего измѣняется высота столба жидкости.

Азотная кислота. Для болѣе сильныхъ токовъ берется въ „концентрированномъ“ видѣ.

Хромовая кислота. 92. порошка двуххромокислого калия растирають съ 94 см³ H_2SO_4 въ однородную кашку и растворяють затѣмъ, при помѣшиваніи, въ 900 см³ воды. Если цинкъ долженъ стоять въ жидкости болѣе продолжительный срокъ, то этотъ растворъ слѣдуетъ разбавить.

Нѣсколько дороже, зато въ остальныхъ отношеніяхъ предпочтительнѣе, хромовая кислота, растворенная въ водѣ, съ прибавкой нѣкотораго количества сѣрной кислоты.

Элементы

Даніеля $Zn, H_2SO_4, CuSO_4, Cu$. Напряжение отъ 1.08 до 1.12 вольта. Первое время послѣ сборки электродвижущая сила обыкновенно бываетъ нѣсколько меньше. Сопротивленіе элемента обыкновенной величины приблизительно 0.6—0.3 ома.

Бунзена или Грове. Zn, H_2SO_4, HNO_3, C или Pt . Электродвижущая сила при хорошемъ состояніи элемента приблизительно 1.9 вольта. Сопротивленіе элемента обыкновенной величины приблизительно равно 0.2—0.1 ома.

Элементъ съ хромовой кислотой. Zn, H_2CrO_4, C . Электродвижущая сила при не особенно сильномъ токъ 2.0 вольта. Если жидкость, отъ употребленія становится всебѣе темной, или даже выделяются хромовые квасцы, то элементы дѣлаются слабыми и негодными.

Сухіе элементы. Это элементы, содержащія цинкъ, уголь и электролитъ, которому придаютъ видъ твердой застывшей его пропитывающей пористой массы или добавляя къ нему индифферентное твердое вещество.

Аккумуляторы. Сопротивленіе по болѣеи части очень мало. Электродвижущая сила отъ 2.0 до 2.2 вольта. Элементы слѣдуетъ заряжать по крайней мѣрѣ каждыя три-четыре недѣли и во всякомъ случаѣ всегда, когда дѣйствіе ихъ идетъ на убыль!

Примѣненіе элементовъ для получения сильныхъ токовъ въ малыхъ сопротивленіяхъ слѣдуетъ примѣнять въ элементахъ большія металлическія пластинки на близкомъ разстояніи одна отъ другой, а также брать мѣдный купоросъ или лѣтнюю кислоту съ большою электропроводностью и концентраціей. Для токовъ въ проводникахъ съ большимъ сопротивленіемъ эти обстоятельства не такъ важны, тамъ важно число соединенныхъ послѣдовательно элементовъ.

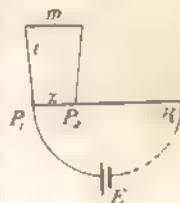
Составленіе батарей. Чтобы получать наибольшую силу тока въ данной вышедшей проводкѣ, слѣдуетъ такъ распредѣлять элементы въ параллельную или послѣдовательномъ соединеніи, чтобы внутреннее сопротивленіе было приблизительно равно вышедшему. Сопротивленіе n элементовъ, соединенныхъ параллельно въ n^2 разъ меньше, чѣмъ при послѣдовательномъ соединеніи.

Нормальный элементъ Кларка. Чистая ртуть, Hg_2SO_4 (закись!), $ZnSO_4$, чистый цинкъ или цинковая амальгама изъ 90 частей чистой ртути

и 10 частей чистого цинка. Напряжение при 18° равно 1.4292 вольта и падает на каждый +1 на 0.0012 вольта. Наибольшая допустимая сила тока, не вызывающая поляризации, при обыкновенной величине элемента, равна, может быть, 2000 ампера. После более или менее продолжительной неспильной работы элемент восстанавливается очень медленно.

Кадмевый нормальный элемент (Вестона). Устроен так же, как и предыдущий, только вместо Zn и $ZnSO_4$ — Cd и $CdSO_4$. Преимущество его в том, что влияние температуры здесь гораздо менее значительно. Напряжение при 18° равно 1.0187 вольта и на каждый 1° падает на 0.00004. Элементы с постоянным (насыщенным при 4°) кадмевым раствором, выпускаемые Вестонской компанией, дают, независимо от температуры, 1.019 вольта.

Получение слабых электродвижущих сил посредством отъема. Элемент (Даниэля, аккумулятор) замыкают некоторым постоянным сопротивлением (реостат или голая проволока) и пользуются двумя точками этой цепи P_1 и P_2 , как полюсами. Если предположить, что отъятый ток i мал по сравнению с основным током, то электродвижущая сила в отъеме, т. е. напряжение между P_1 и P_2 будет относиться к E так, как сопротивление r между P_1 и P_2 к полному сопротивлению R .



Динамомашин. Токи от машин часто бывают непостоянны вследствие колебаний газомотора. Ток может сделаться очень постоянным, если параллельно с машиной, в том же направлении, включить подходящее число аккумуляторов („буферная батарея“). Ср. также 104.

III Соединение проводников между собою

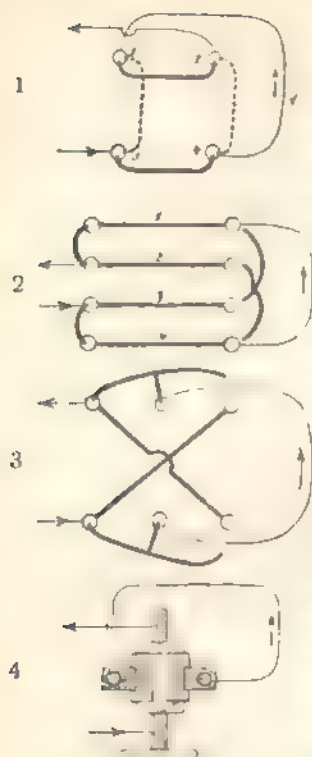
Простое соприкосновение твердых частей цепи между собою не есть вообще достаточного замыкания. Части, просто соприкасающиеся между собою, должны быть из платины. — Оси замыкателей и коммутаторов непременно должны быть снабжены скользящими пружинами. — Даже при употреблении винтовых зажимов следует поддерживать соприкасающиеся поверхности блестящими и туго завинчивать винты.

Ртуть также обеспечивает хорошее соединение, лишенное сопротивления, но только в том случае, если металлы, соприкасающиеся с нею (латунь, медь, платина, амальгамированная). О тепловых соединениях см. IV.

Коммутатор или переключатель тока

1 Весто проще — доска с четырьмя чашечками со ртутью (чертеж см. слѣд. стр.), пара металлических дужек соединяет либо 1 с 2 3 с 4, либо 1 с 3 2 с 4. К 2 и 3 подводят проволоки от источника тока, к 1 и 4 — концы цепи, по которой должен течь ток.

2 В переключателе с восьмью парно соединенными чашечками с ртутью к средней, например, паре можно присоединить батарею, к крайней



парть замыкающую щель. Опускание щедных дужек на левую сторону соединяет 1 съ 2 3 съ 4, на правую сторону — 1 съ 3 и 2 съ 4.

3. Проволоки от полюсов источника электродвижущей силы подводятся къ двумъ крестообразно соединеннымъ парамъ чашечекъ, перекладывая мѣдныя дужки, можно соединить каждый полюсъ либо съ одной, либо съ другою изъ двухъ чашечекъ, изъ которыхъ исходить щель.

4. Въ цилиндрическомъ коммутаторѣ можно присоединить источникъ тока, напримѣръ, къ концамъ оси, а щель къ пружинамъ скользящимъ по металлическимъ полуцилиндрамъ. Каждый полуцилиндръ соединенъ проводникомъ съ полюсомъ. Поворачиваніе на 180° коммутируетъ токъ. Безъ скользящихъ пружинъ этотъ ключъ не пригоденъ.

IV. Реостатическія сопротивленія

Реостаты служатъ для регулированія тока и для измѣренія сопротивленія. Ихъ проводящія части состоятъ, въ особенности когда имѣется въ виду послѣдняя щель, изъ сплавовъ, проводимость которыхъ мало зависитъ отъ температуры. Мanganинъ и константанъ почти не зависятъ отъ температуры, а сопротивленіе хорошихъ сортовъ нейзильбера возрастаетъ при нагреваніи на 1° на

1 на 4000 1 на 3000 Ср табл. 20.

Чтобы уменьшить самоиндукцію и вѣншнее магнитное дѣйствіе катушекъ, обороты наматываются наполовину влево, наполовину вправо, по большей части способомъ бифилярнаго наматыванія; въ случаѣ же большихъ сопротивленій этотъ способъ приводитъ къ чрезмѣрному возрастанію электростатической емкости катушекъ, а потому ихъ въ этомъ случаѣ лучше наматывать слоями то въ одну, то въ другую сторону.

Въ интенсельныхъ реостатахъ сопротивленія, находящіеся между металлическими накладками, вводятся посредствомъ выниманія интенселей, каждый десятокъ подраздѣленъ на части 1, 2, 2, 5 или 1, 2, 3, 4. Въ реостатахъ съ вращающейся ручкой (Kurbelreostaten) каждый десятокъ подраздѣленъ на 10 равныхъ частей, заключенныхъ между выступами, по которымъ скользитъ вращающійся контактъ, токъ входитъ черезъ кнопку „нуль“ и выходитъ черезъ ручку, ср. стр. 219. — Удобно, если каждый десятокъ можно ввести отдѣльно, независимо отъ другихъ.

Штепселя слѣдуетъ брать только за ручку и предохранять ихъ концы отъ загрязненія. Вставлять ихъ надо не особенно туго, слегка поворачи-

чивая и почаще чистить полотняной тряпочкой, которую можно смочить не большим количеством керосина. В случаѣ, если реостатъ остается безъ употребленія болѣе или менѣе продолжительное время, слѣдуетъ штепселя вынуть.

Сильной нагрузкой токомъ надо избѣгать вслѣдствіе того, что отъ нагреванія реостатъ портится. Допустимая сила тока зависитъ отъ толщины проволоки и отъ устройства — Сопротивленія для сильныхъ токовъ располагаются либо прямо въ воздухѣ, либо въ ваннѣ изъ масла или керосина.

81. Измѣреніе силы тока. Тангенсъ-буссоль (Пулье и В. Веберъ)

Методы измѣренія силы электрическаго тока разпадаются на три группы, соотвѣстственно тремъ способамъ, которые можно положить въ основу опредѣленія единицы силы тока, называемой амперомъ (ср. также 80, 1), именно:

1 1 амперъ есть $\frac{1}{10}$ часть Веберовской CGS-единицы. Измѣрительные приборы — тангенсъ-буссоли, гальванометръ, электродинамометръ, электродинамические вѣсы; 81 — 86.

2 1 амперъ есть токъ, отдающій въ 1 сек. 1 118 м. серебра. Измѣрительный приборъ — вольтаметръ; 87.

3 1 амперъ есть токъ, который возбуждается электродвижущей силой въ 1 вольтъ въ сопротивленіи 1 омъ. Измѣрительные приборы — нормальный элементъ и сопротивленіе, компенсационный приборъ; 88.

4 Единица тока 1 CGS или 1 веберъ есть тотъ токъ, который производитъ магнитное дѣйствіе, равное единицѣ, это значитъ, что единица длины этого тока на единичный магнитный полюсъ (1, 14), помѣщенный на разстояніи 1 см. по перпендикулярѣ, производитъ поперечную магнитную силу въ 1 дину (1, 7). Электромагнитная сила убываетъ пропорционально квадрату разстоянія. Ср. 1, 22.

Тангенсъ-буссоль состоитъ изъ значительныхъ размѣровъ круга, обтекаемаго токомъ, съ короткой магнитной стрѣлкой посрединѣ. Плоскость оборотовъ обмотки круга должна находиться въ магнитномъ меридианѣ, т. е. совпадать съ неотклоненной стрѣлкой.

Если тангенсъ-буссоль, состоящая изъ n круговыхъ оборотовъ, радиусъ которыхъ въ среднемъ, равенъ R см. въ мѣстѣ, гдѣ горизонтальная составляющая равна H (73; табл. 23), даетъ отклоненіе на уголъ α , то сила тока

$$I = \frac{RH}{2n\pi} \lg \alpha - C \lg \alpha \text{ CGS-единицъ или веберовъ.}$$

($\frac{RH}{2n\pi}$) есть переводный множитель для перехода къ электромагнитнымъ CGS-единицамъ $\lg \alpha$ смотри въ табл. 31 или $\log \lg$ въ пятизначныхъ таблицахъ Бремерера.

Доказательство. Ток i протекает по длине $l = 2R\pi$ в расстоянии R от короткой стрелки M . Она стремится поставить последнюю перпендикулярно к плоскости оборотов и при отклонении стрелки на угол α производить на нее момент вращения $\tau = 2\pi R^2 H^2 \cdot M \cos \alpha = 2\pi R \cdot M \cos \alpha$. Возвращающий момент вращения земного магнетизма есть $HM \sin \alpha$, ср. 1, №. 22 и 21. Приравнявая оба выражения, получаем вышеприведенную формулу.

Формула выводится в предположении, что длина стрелки и поперечное сечение обмотки малы сравнительно с радиусом; в противном случае в первоначальный множитель вводится поправка, и сам закон тангенса становится не вполне верным.

Так как ток в 1 ампер есть десятая часть CGS-единицы, то переводный множитель C_n тангенса-буссоли, приводящий к амперам, если R и H измерены в единицах [см и с/см], будет

$$C_n = 5 \frac{RH}{\pi}$$

Отчеты деляют по обоим концам стрелки и берут среднее, зеркальное стекло у буссоли служит для избежания параллакса при отчетах.

Коммутатор (стр. 203). Лучше пускать ток в двух взаимно противоположных направлениях и брать среднее из отклонений из обеих сторон, с этой целью претъ гальванометром включают коммутатор. Этим способом не только удваивается точность, но и уничтожается зависимость отчета от нулевой точки деления и от некоторой неточности установки в меридиан; последнее обстоятельство могло бы повести к несимметричности отклонений.

Определение R . Измеряют диаметр масштабом, циркулем, рулеткой или компаратором, или же вычисляют радиус из длины l проволоки, образующей n оборотов, по формуле $R = l / (2n\pi)$.

Напряжение земного магнетизма. H берут из табл. 23, разумеется, если можно предположить, что нет местных магнитных влияний.

Пример. Проволока длиной 14480 см делает 24 круговых оборота. Значит $R = 1448 / (48 \cdot 3.1416) = 12.92$ см. Далее, пусть $H = 0.1904$ (для 51°5' географической широты и 49' географической долготы к востоку от Гринвича). В таком случае сила тока, производящего отклонение на угол α , равна, в электромагнитной мере,
 $12.92 \cdot 0.1904 \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0.41636 \cdot \operatorname{tg} \alpha$ CGS (веберов) или $0.1636 \operatorname{tg} \alpha$ ампера
 2.24.3.1416

Соединительная проволока. Чтобы ток во внешних проводниках не действовал на стрелку, приводящая и уводящая ток проволоки вездь прокладывают рядом как можно ближе друг к другу, или скручиваются вместе.

Для успешения стрѣлки можетъ служить маленькая лань, который по мѣнованіи направленія слѣдуетъ удалить на достаточное разстояніе для той же цѣли можно пользоваться также коммутаторомъ. При обращеніи тока сначала производить только размыканіе и замыкать вновь лишь тогда, когда стрѣлка, слѣзавъ размахъ въ одну сторону начать двигаться обратно.

Наивыгоднѣйшее отклоненіе	Ошибка въ °/1' дастъ (ср. стр. 25)					
при отклоненіи	5	10	15	20	30	40
	85	80	75	70	60	50
ошибку въ результатъ въ	2	1	0.7	0.54	0.4	0.31

Слѣдовательно, и слишкомъ малая и слишкомъ большая отклоненія не выгодны въ смыслѣ точности. Для значительно разнящихся другъ отъ друга силъ тока слѣдуетъ поэтому примѣнять обмотки различныхъ радиусовъ или съ различными числомъ оборотовъ. Или же обмотки слѣдуетъ устраивать такъ чтобы можно было ввести большее или меньшее число оборотовъ. Или намотано нѣсколько одинаковыхъ кусковъ проволоки и присоединено такъ, что можно включать всѣ обороты поотдельно, или же и группъ оборотовъ параллельно то переводный множитель въ показаніяхъ случаевъ n разъ больше, чѣмъ въ первомъ.

Относительныя измѣренія. Для нѣкоторыхъ цѣлей достаточно бываетъ знать лишь отношенія силъ тока. Два тока относятся между собою, какъ тангенсы ихъ угловъ отклоненія

$$i : i' = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} \alpha'.$$

Уменьшеніе отъ закона тангенсовъ уменьшается въ томъ случаѣ, если стрѣлка находится на разстояніи R отъ сторонъ отъ нули тока

82. Синусъ-буссоль (Пульс)

Синусъ-буссоль служитъ только для относительныхъ измѣреній и въ случаѣ сложности наблюденія употребляется горизонтально.

Поворачивая мультипликаторъ вѣздъ за стрѣлкой, добиваются того чтобы ихъ относительное положеніе было такое же, какъ и то пропускающаго тока, въ этомъ случаѣ и мультипликаторъ и стрѣлка отклонены на уголъ α . Теперь, очевидно,

$$i = i' \sin \alpha$$

Такъ какъ наибольшее значеніе синуса есть 1, то предѣлы применимости инструмента оказываются узкими. Если при стрѣлкѣ есть вертикальныя дѣленія, то можно измѣрять болѣе сильные токи при наклонномъ положеніи стрѣлки (напримѣр, на 45° или 70°). Чтобы опредѣлить переводный множитель для сравненія показаній при раз-

личномъ наклонѣнн, измѣряютъ отклоненія α_1 и α_2 , производимыя однимъ и тѣмъ же токомъ при тѣхъ двухъ наклоненіяхъ, которыя требуется сравнить. Тогда $\mu = \sin \alpha_1 / \sin \alpha_2$ представитъ собою искомый множитель.

О сходномъ крутилѣснмъ гальванометрѣ см. 103

83. Зеркальный гальванометръ

Установку отличаютъ или по способу трубы и шкалы или объективно: съ помощью движущагося зѣрка, отбрасываемаго зеркаломъ (25) О гальванометрахъ со стрѣлкой и съ вращающейся катушкой, а также объ употребительныхъ формахъ ихъ см. слѣд. стр.

Для малыхъ отклоненій, измѣряемыхъ зеркаломъ и шкалой (25), вплоть до отклоненій въ нѣсколько градусовъ, токъ приблизительно пропорционаленъ углу отклоненія α или перемѣненію θ измѣренному въ дѣленіяхъ шкалы, слѣдовательно, $\theta = C \cdot \alpha$ или $\theta = C' (2 l) \cdot e$, гдѣ l разстояніе шкалы. Для постоянного разстоянія шкалы справедлива, слѣдовательно, формула

$$\theta = C \cdot e.$$

Объ опредѣленнн переводнаго множителя C въ абсолютной мѣрѣ ср. 89, о коммутаторѣ и соединительныхъ проволокахъ стр. 206.

Въ какихъ предѣлахъ можно принять пропорциональность, зависитъ отъ формы прибора. Для рѣшенія этого вопроса и для опредѣленія въ случаѣ надобности, поправки, которая слѣдуетъ внести въ отчеты, чтобы послѣдніе сдѣлались пропорциональными силѣ тока, производятъ различныя отклоненія (приблизительно 100, 200 и т. д. мк) замыкая одну и ту же постоянную кѣтѣ (аккумуляторы, Данцель) черезъ гальванометръ и различныя сопротивленія изъ реостата. Сила тока обратно пропорциональна полному сопротивленію (кѣтѣ + гальванометръ + реостатъ). Но при градуированн чувствительныхъ инструментовъ изъ реостата приходится брать столь значительныя сопротивленія, что два первыхъ слагаемыхъ часто можно совершенно не принимать во вниманіе или, по крайней мѣрѣ, достаточно ихъ знать лишь приблизительно. Затѣмъ наносятъ на графикъ силы тока, какъ абсциссы, отчеты — какъ ординаты (8); отклоненія получаемой кривой отъ прямой линн дадутъ поправки, которыя слѣдуетъ вносить въ отчеты по шкалѣ. Ср. также 89.

Астатированне стрѣлки гальванометра извѣстѣ. Чтобы повысить чувствительность, уменьшаютъ извлекаемую силу земнаго магнетизма

Этого можно достигнуть съ помощью астазирующаго магнита, который находится обыкновенно изъ или подъ стрѣлкой съвѣрными концомъ къ сѣверу и можетъ быть установленъ на различныхъ расстоянiяхъ отъ нея. Той же цѣли можно достигнуть при помощи магнитъ, положеннаго гдѣ-нибудь въ сторонѣ. Колебания земнаго магнетизма проявляются, конечно, тѣмъ сильнее, чѣмъ выше чувствительность.

Можно примѣнять магнитъ и съ противоположной цѣлью для того, чтобы приборъ слишкомъ чувствительный сдѣлать менѣе чувствительнымъ.

Зеркальные буссоли съ подвижными мультипликаторами градуируются опытнымъ путемъ. Сравниваютъ отклоненiя отъ одного и того же тока при нѣсколькихъ условiяхъ мультипликатора на масштабъ и изображаютъ отклоненiя графически (8).

Объ измѣренiи сильныхъ токовъ помощью отвѣтвленiя см. 86.

Формы зеркальных гальванометровъ

Гальванометры со стрѣлкой. Нѣкоторыя употребительныя формы изображены здѣсь схематически. Въ наиболѣе чувствительныхъ инструментахъ зеркальный способъ отчета примѣняется наряду съ двойной стрѣлкой, заключенной въ двойномъ мультипликаторѣ (чертежъ 5), причемъ такая стрѣлка иногда астазируется еще и снаружи. Астатическую систему нельзя въводить дѣйствию сильныхъ токовъ не рискуя нарушить постоянства чувствительности прибора.



Гальванометры съ вращающейся катушкой. Все болѣе и болѣе частое примѣненiе получаютъ гальванометры съ вращающейся катушкой, въ противуположность обыкновеннымъ, катушку которыхъ вращается въ магнитномъ полѣ (часто они называются гальванометрами Дюроа, Арсонва). Обороты вращающейся катушки должны совпадать съ числомъ дѣлений шкалы, исчисляющей тогда отклоненiй моментъ вращенiя $\propto I \sin \theta$, если θ означаетъ площадь катушки, а \propto — вращающее поле. См. чертежъ ниже.

Чувствительность инструмента обуславливается силой тока и темъ, между полюсами подковообразнаго магнита, часть катушки находится еще неподвижный планшеть изъ мягкаго желѣза (чертежъ). Направляющей силой P катушки служитъ упругость пружины или проводокъ служащихъ для подвѣшиванiя катушки и въ то же время для поданiя тока. Чувствительность прямо пропорциональна f и \propto — обратнѣ пропорциональна P , пропорциональность отчета силѣ тока достигается соответствующей формой полюсовъ магнита. Источникомъ ошибокъ въ показанiяхъ прибора является



старыхъ инструментахъ является упругое послѣдствіе проволоки, служащей для подвѣсиванія, а также что весьма возможно неправильное закрѣпленіе этой проволоки посредствомъ клеммъ.

Внѣшнія магнитныя возмущенія почти совсѣмъ не оказываютъ вліянія на эти инструменты.

Демфированіе (успокоеніе) происходитъ благодаря токамъ, индуцированнымъ (94) въ металлической рамочкѣ катушки. Однако въ замкнутой состоянн катушка демфируется также токами, наведенными въ ней самой, это обстоятельство ставитъ предѣлы чувствительности прибора, такъ какъ демфированіе возрастаетъ, и наконецъ до того что приборъ становится непримѣнимымъ. Поэтому при чувствительныхъ инструментахъ разъ навсегда включается послѣдовательно блластное сопротивленіе.

Баллистическій гальванометръ (примѣръ, чертежъ 4 предъ стр.) Колебанія въ немъ должны быть достаточно медленны для того чтобы можно было измѣрить отклоненія движущейся стрѣлки и периоды колебанія. О градуированн, теоріи и примѣненн инструмента см. 106—110 и 94.

84. Электродинамометръ (В. Веберъ)



Такъ, проходя по двумъ катушкамъ — одной неподвижной, другой, перпендикулярной къ первой, способной вращаться. Моментъ вращенія стремящійся поставить токи въ обѣихъ катушкахъ параллельно пропорционаленъ квадрату силы тока. Направляющая сила задается бифилярнымъ подвѣсомъ, приводящимъ токъ наа уругостью крученія гдѣ-либо проволоки.

Малыя отклоненія θ подвижной катушки, измѣряемыя зеркаломъ и шкалой, пропорциональны квадрату силы тока i , слѣдовательно,

$$\theta = C [i]^2,$$

гдѣ C множитель для даннаго инструмента (89).

Въ болѣе широкихъ предѣлахъ оказывается примѣнимымъ динамометръ съ приведеніемъ къ нулю, сила тока въ немъ опредѣляется по углу ϕ , отъ котораго надо закрутить подвѣсную нить, чтобы при помощи вращающейся головки привести къ нулю отклоненную катушку. Сила тока будетъ $i = C [\phi]$ ф.

Ось неподвижной катушки должна стоять по направленію съ сѣвера на югъ, чтобы земной магнетизмъ на нее не дѣйствовалъ.

Объ опредѣленн и контролированн C см. 89.

Особенность динамометра, сравнительно съ гальванометромъ, состоитъ въ томъ, что направленіе отклоненія не зависитъ отъ направленія тока.

Переменные токи. Мощность тока; эффективная сила тока. Въ силу только-что упомянутого обстоятельства, динамометръ чаще всего применяется къ переменнымъ токамъ, т. е. такимъ, которые, имѣя въ отдѣльности одинаковую интегральную силу тока, слѣдуютъ другъ за другомъ то въ одномъ, то въ другомъ направлении. Отклоненіе динамометра измѣряетъ среднюю мощность тока, т. е. энергию тока въ единицу времени, такъ какъ мощность въ каждый моментъ пропорциональна квадрату силы тока. Говорятъ также: квадратный корень изъ отклоненія динамометра пропорционаленъ эффективной силѣ тока.

При переменныхъ токахъ слѣдуетъ принимать во вниманіе самоиндукцію катушекъ. Въ особенности распределение тока между инструментомъ и отвѣтвленіемъ (86) при быстро-переменныхъ токахъ можетъ сильно разниться отъ вычисленнаго по сопротивленіямъ.

Далѣе, слѣдуетъ имѣть въ виду, что, если катушки не въ точности перпендикулярны между собой, то переменные токи одной катушки оказываютъ индуктирующее дѣйствіе на другую. Чтобы испытать перпендикулярность, пропускаютъ переменные токи только черезъ вѣншую катушку, въ то время какъ внутренняя замкнута сама на себя. Последняя при этомъ не должна отклоняться.

Электродинамическіе вѣсы

Къ динамометрамъ слѣдуетъ причислить также приборы, состоящие изъ катушки, прикрѣпленной къ коромыслу вѣсовъ и находящейся подъ дѣйствіемъ неподвижной катушки, черезъ обѣ катушки пропускаютъ одинъ и тотъ же токъ (Рэлей, Гельмгольцъ, Кельвинъ). Сила измѣряемая накладными или передвижными грузами, здѣсь также пропорциональна квадрату силы тока или мощности тока.

Сюда же принадлежитъ неподвижная, обтекаемая токомъ катушка (чертежъ стр. 212), намагничивающая подвижной кусокъ мягкаго желѣза и оказывающая на него извѣстное силовое дѣйствіе, напримѣръ, втягивающая его въ себя. Для токовъ средней силы магнетизмъ пропорционаленъ силѣ тока, и такъ какъ движущая сила пропорциональна намагниченію и силѣ тока, то перемѣщеніе приблизительно пропорционально квадрату силы тока. Поэтому въ извѣстныхъ предѣлахъ эти инструменты можно применять для приблизительнаго измѣренія мощности тока.

Наконецъ, инструменты съ нагрѣваніемъ проволоки (Hitzdrahtinstrumente), отклоненіе которыхъ приблизительно пропорціонально выдѣленію тепла, зависящему отъ квадрата силы тока, измѣряютъ также мощность тока.

85. Различныя формы указателей тока



Гальванометры со стрѣлкой и шкалой могутъ состоять, подобно таинесъ-буссели, изъ неподвижнаго мультипликатора и магнитной стрѣлки. Болѣе старые инструменты имѣютъ по большей части именно такую форму. Чувствительность обратно пропорциональна напряженію магнитнаго поля; въ инструментахъ, предназначенныхъ для сильныхъ токовъ, поле является по-

этому близко находящимися магнитными полюсами (2-ой чертежъ). — Если стрѣлка движется въ вертикальной плоскости, то чувствительность уменьшается еще и отъ силы тяжести. Во всякомъ случаѣ, неотклоненная стрѣлка должна быть параллельна оборотамъ

Зависимость отклоненія отъ силы тока для разныхъ формъ прибора различна и часто предоставляетъ довольно сложную функцію, такъ, что по отклоненію можно лишь приблизительно судить о силѣ тока, для цѣлаго ряда приложений этого однако бываетъ достаточно. Дѣленія, дающія силу тока, должны быть нанесены и испытаны эмпирически (88).



Во многихъ указателяхъ тока примѣняется подвижной кусокъ мягкаго желѣза, который намагничивается и приводится въ движеніе токомъ. Шкала здѣсь гораздо менѣе равномерна, такъ какъ движущая сила пропорціональна произведенію изъ силы тока и намагниченія, а послѣднее само возрастаетъ съ увеличеніемъ силы тока. Отсчетъ производится по стрѣлкѣ или прямо по желѣзному стержню, втягивающемуся въ катушку (чертежъ).



Указатель тока (ампер-вольтметръ)

Вестона, ср. 83, вращающаяся катушка. Инструменты этого рода все болѣе и болѣе прибрѣтаютъ себѣ права гражданства. Въ сильномъ магнитномъ полѣ на остріяхъ вращается катушка. Упругая пружина даетъ направляющую силу, устанавливающую катушку такъ, чтобы при отсутствіи

тока обороты ея стояли параллельно силовымъ линиямъ. Токъ же испытываетъ моментъ вращенія, стремящійся поставить обороты перпендикулярно къ силовымъ линиямъ. Магнитные полюсы въ формѣ полуцилиндровъ и неподвижный желѣзный цилиндръ *Е* внутри катушки, направляющій силовыя линіи въ промежуточномъ воздушномъ пространствѣ почти радіально (чертежъ представляетъ видъ сверху) способствуютъ тому, чтобы отклоненіе возрастало почти равномерно съ увеличеніемъ силы тока

Чувствительность *ceteris paribus* пропорциональна силѣ поля. Объ измѣненіи значеній шкалы по способу отвѣтвления см. 86. Инструментъ слѣдуетъ охранять отъ сильныхъ вѣшнихъ магнитныхъ вліяній.

86. Измѣненіе постоянной гальванометра посредствомъ параллельныхъ замыканій

Нижеслѣдующія замѣчанія имѣютъ значеніе для всякихъ гальванометровъ. Если инструментъ слишкомъ чувствителенъ для тѣхъ токовъ, которые требуется измѣрить, то часть тока пропускаютъ черезъ постоянное сопротивление, введенное параллельно, и такимъ образомъ направляютъ ее помимо гальванометра.

Всякую силу тока, непосредственно получаемую изъ отчета по инструменту, для нахождения полного тока нужно будетъ умножить на постоянный „множитель отвѣтвления“ a , который получается изъ сопротивленія обмотки гальванометра γ и изъ сопротивленія параллельно включеннаго проводника z (доказательство въ примѣрѣ 1, стр. 201):

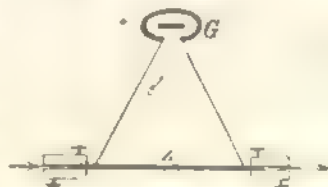
$$a = (z + \gamma) / \gamma \quad \text{или} \quad = 1 + \gamma / z.$$

Вычисленіе всего проще при $z = \frac{1}{2} \gamma$ или $\frac{1}{10} \gamma$ и т. д., ибо тогда $a = 10, 100$ и т. д.

Такия отвѣтвленія часто, напримѣръ, прямо соединены съ Вестоневскими измѣрителями тока. Если безъ отвѣтвленія получается отчетъ, скажемъ, 0.01 ампера, то при отвѣтвленіи въ $\frac{1}{10}$ тотъ же отчетъ означать 0.1 ампера, а при $\frac{1}{100}$ — цѣлый амперъ.

Металъ въ отвѣтвленіи не долженъ измѣнять своего сопротивленія съ температурой (табл. 20) или долженъ быть настолько толстымъ, чтобы нагреваніе токомъ не достигало вредныхъ размѣровъ.

Отвѣтвленія съ малымъ сопротивленіемъ слѣдуетъ включать въ цѣпь такъ, чтобы сопротивленія въ мѣстахъ соединений (ср. 80 III) не вредили дѣлу; напримѣръ, такъ, какъ показано здѣсь на чертежѣ. Чтобы не потребовалось слишкомъ малаго сопротивления z , къ гальванометру можно присоединить балластное сопротивленіе, которое тогда входитъ въ составъ γ .



Прилагаемый чертежъ показываетъ, какъ изъ одного и того же реостата R можно взять и отвѣтвленіе и балластъ.



87. Электролитическое измѣрѣніе тока. Вольтаметръ

Токъ въ 1 амперъ отлагаетъ изъ раствора серебряной соли въ 1 сек. 1.118 мг. серебра. По закону Фарадея, массы-ионовъ, переносящихъ данное количество электричества, пропорциональны химическимъ эквивалентамъ этихъ ионовъ, химическій же эквивалентъ (принимая атомный вѣсъ O 16.00, табл. 24) составляетъ для Ag 107.93, для H 1.008, для двувалентныхъ ионовъ O $\frac{1}{2}$ 16.00 8.00 и Cu $\frac{1}{2}$ 63.6 = 31.8. Отсюда получаются „электрохимическіе эквиваленты“, т. е. массы, отлагаемыя количествомъ электричества 1 амперъ-секунда или 1 кулонъ (въ нижеслѣдующемъ эти массы обозначаются черезъ E):

1.118 мг. серебра, 0.3294 мг. мѣди, 0.01044 мг. водорода,
0.08287 мг. кислорода;

слѣдовательно количество разложенной воды будетъ 0.0933 мг., при 0° и 760 мм. давления она образуетъ 0.1740 см³ гсмучатаго газа.

Пусть измѣряемый токъ i проходитъ черезъ жидкость въ теченіе времени t ; разложенная имъ масса пусть будетъ m . Тогда сила тока (объ E см. выше)

$$i = \frac{1}{E} \frac{m}{t} \text{ амперъ или } = \frac{1}{10E} \frac{m}{t} \text{ CGS-единицъ.}$$

Измѣрѣніе тока вольтаметромъ служитъ главнымъ образомъ для того, чтобы проградуировать шкалу инструмента, измѣряющаго токъ. Въ качествѣ задачи для упражненія можно опредѣлять и самый электрохимическій эквивалентъ, измѣряя токъ въ абсолютной мѣрѣ посредствомъ тангенсъ-буссоли (81), введенной въ ту же шкалу, что и вольтаметръ.

Неудобнымъ оказывается непостоянство тока, въ металлическихъ вольтаметрахъ происходящее въ особенности отъ измѣненія сопротивления растворовъ (исправляется въ случаѣ надобности при помощи реостата, примѣненіе большихъ электродвижущихъ силъ, въ связи съ уменьшеніемъ силы тока до желательной величины посредствомъ балластнаго сопротивления, уменьшаетъ это непостоянство).

Условия даннаго опыта, при которыхъ получается требуемая сила тока, слѣдуетъ испытать прежде, чѣмъ приступать къ измѣрѣнію

I Серебряный вольтаметръ

15—30, растворъ азотнокислаго серебра (ляписа), удѣльнаго вѣса 1.14—1.33, съ серебрянымъ анодомъ. Възвѣшивается осадокъ на катодѣ. Удобная форма катода серебряный или платиновый

тигель; стерженекъ изъ чистаго серебра служить анодомъ. Чтобы помѣщать частичкамъ падать съ анода, лучше всего подвѣшивать внутри вольтаметра стеклянную чашечку. Осадокъ промываютъ сначала въ горячей, потомъ въ холодной дистиллированной водѣ, пока холодная промывная вода не перестанетъ давать реакціи съ соляной кислотой, затѣмъ высушиваютъ, слегка подогрѣвая, и минуту черезъ 10 по охлажденіи взвѣшиваютъ. При сильномъ токѣ площадь катода должна быть велика, такъ какъ въ противномъ случаѣ серебряныя нити, прорастающія по направленію къ аноду, портятъ измѣреніе.



II. Мѣдный вольтаметръ

Въ особенности примѣнимъ для сильныхъ токовъ

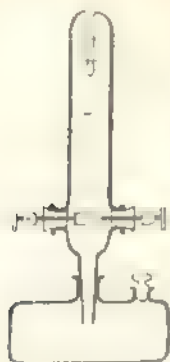
Берется почти насыщенный растворъ чистаго мѣднаго купороса въ дистиллированной водѣ: приблизительно 10 г кристаллической соли растворяютъ въ 50 cm^3 воды; удѣльный вѣсъ приблизительно 1.1. Анодъ изъ чистой мѣди; катодъ изъ мѣди или платины. Измѣряется опять-таки приращеніе вѣса катода; послѣдній споласкивается водою и быстро просушивается между пропускной бумагой, а затѣмъ, если можно, подъ колоколомъ воздушнаго насоса или въ эксикаторѣ.

Величина электродовъ должна соответствовать силѣ тока. Чтобы осадокъ получился плотный, плотность тока на катодѣ не должна превышать, приблизительно, 1 ампера на 25 cm^2 .

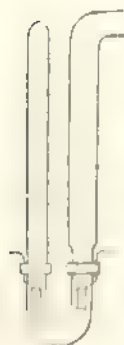
III. Водяной вольтаметръ

Такъ какъ никакихъ взвѣшиваній здѣсь не требуется, то работать съ этимъ вольтаметромъ удобнѣе, чѣмъ съ предыдущимъ, и при измѣненіи обращенія онъ даетъ точность до нѣсколькихъ тысячныхъ долей.

10—20% растворъ чистой сѣрной кислоты (удѣльный вѣсъ 1.07—1.14) разлагается между чистыми платиновыми электродами. Такъ какъ электродвижущая сила поляризации при выдѣленіи водорода и кислорода на платинѣ составляетъ почти 3 вольта, то для разложенія требуется по меньшей мѣрѣ 3 элемента Даніэля или 2 бузеновскихъ, или же 2 аккумулятора.



При сильных токах выделяемый гремучий газ измеряется, как одно целое. Съ электродами, стоящими совсѣмъ близко другъ къ другу и имѣющими приблизительно по 15 см^2 действующей поверхности, можно измерять токи вплоть до 40 амперъ, причемъ нагревание не отзывается вредно на измерении. Изображенный здѣсь приборъ послѣ употребленія (во время котораго пробочку слѣдуетъ вынимать!) наполняется снова посредствомъ переверачиванія. Электроды на самомъ дѣлѣ слѣдуетъ повернуть на 90° противъ того положенія, въ какомъ они представлены на рисункѣ. Не слѣдуетъ давать вытѣкаться гремучему газу настолько чтобы токъ прекратился такъ, какъ тогда отъ искры можетъ произойти взрывъ.



При слабыхъ токахъ слѣдуетъ собирать лишь выдѣляемый газъ такъ, какъ это описано въ примечаніи. Образовавшійся озонъ отчасти абсорбируется подоломъ, объемъ гремучаго газа получается умноженіемъ на $\frac{1}{2}$. Нарисованный рядомъ вольтметръ приходится поворачивать, чтобы вновь заполнить жидкостью колѣно съ дѣленіями.

Вычисленіе. Объемъ v , измеренный при температурѣ t подъ давленіемъ p ии Нг (приведеннымъ къ 0°), при 0° и 760 ии имѣлъ бы величину (табл. 7)

$$v_0 = \frac{v}{1 + 0.00367t} \cdot \frac{p}{760}$$

Давленіе ртутнаго столба, подъ которымъ находится газъ, равно высотѣ барометра b , за вычетомъ перечисленной на ртуть высоты h столба сірной кислоты, т. е. достаточной точности можно достигнуть, вычитая $h = 1.136 \frac{p}{p_0}$ h . Высоту h измеряютъ отъ руки посредствомъ масштаба. Но изъ давленія $b - \frac{1}{10} h$ нужно еще вычесть давленіе водяного пара, составляющее надъ нашей сірной кислотой около 0.12 упругости насыщеннаго надъ водою пара, т. е. $0.9 e$, причемъ e берется для температуры t изъ табл. 13. Итакъ, $p = b - \frac{1}{10} h - 0.9 e$. (Если бы, допустимъ, въ приборѣ, изображенномъ на второмъ чертежѣ, жидкость снаружи стояла выше, чѣмъ внутри, то, разумѣется, слѣдуетъ взять $-\frac{1}{10} h$).

Наконецъ, вычисляюгъ силу тока i , зная, что разложение продолжалось τ сек (см. начало параграфа):

$$i = \frac{1}{0.1740} \frac{v_0}{\tau} \quad \text{или} \quad = 5.75 \frac{v_0}{\tau} \text{ амперъ.}$$

Удобная таблица для 15—20°, серной кислоты. Объем гремячего газа, выделяемый током 1 ампер в 1 сек, занимает при обыкновенной температуре около 1 см³. Следующая таблица дана для различных давлений p' (т. е. h , h) и температуры t из поправки, которую следует внести в измеренный объем, чтобы с полученным исправленным объемом v произвести вычисление силы тока по формуле

$$i = 5 \cdot \frac{v'}{t} \text{ амперь.}$$

Пусть, например, δ будет число, взятое из таблицы для p и t , тогда придется положить $v' = v(1 + \delta)$.

t	$p' = 700$	710	720	730	740	750	760 мм
10°	+ 0.009	0.021	+ 0.038	+ 0.053	+ 0.068	+ 0.082	+ 0.097
15°	+ 0.013	0.02	+ 0.016	+ 0.030	+ 0.044	+ 0.059	+ 0.073
20°	+ 0.015	0.021	0.004	+ 0.007	+ 0.021	+ 0.035	+ 0.049
25°	+ 0.018	0.015	0.01	0.017	0.004	+ 0.010	+ 0.024

Пример. $v = 198$ см³ гремячего газа в $t = 117$ сек при $t = 17.7^\circ$ и $h = 754$ мм, столб жидкости (20% H₂SO₄) под уровнем газа $h = 110$ мм. Итак, давление влажного газа $p' = 754 - 110 = 644$ мм Hg. Упругость насыщенного водяного пара при 17.7° (табл. 13) $e = 15.1$; следовательно, давление сухого газа $p = 644 - 15.1 = 628.9$ мм. Объем сухого гремячего газа приведенный к 0° и 760 мм, поэтому будет

$$v_0 = \frac{198}{1 + 0.00367} \cdot \frac{731}{760} = 178.8 \text{ см}^3$$

и сила тока

$$i = \frac{1}{0.1740} \cdot \frac{178.8}{117} = 8.78 \text{ ампера} = 0.878 \text{ CGS или вебера}$$

Или иначе таблица дана для $p = 745$ мм при 15° поправку $+ 0.0051$, при 20° $+ 0.0028$ следовательно, при 17.7° $+ 0.0031$. Итак,

$$i = \frac{198}{1 + 0.0031} \cdot \frac{731}{760} = 178.8 \text{ см}^3 \text{ и } i = 5 \cdot \frac{178.8}{117} = 8.79 \text{ ампера}$$

88. Измерение тока компенсацией нормального элемента. Компенсационный прибор

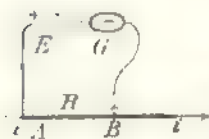
Вместо того чтобы непосредственно измерить силу тока (i) можно определять ее посредством измерения сопротивления (R) некоторого участка цепи, на концах которого существует известная разность потенциалов (E). Тогда $i = \frac{E}{R}$, причем i получается в амперах, если E и R выражены в вольтах и омах. Этот метод часто применяется для точного измерения тока с тех пор, как в фирмах нормальных элементов (Кларк, Вестон, ср. стр. 202) мы располагаем точно определенными напряжениями, самый способ измерения состоит в следующем.

Пусть i (чертеж на след. стр.) изображает измеряемый ток.

Нормальный элемент E , вместе с гальваноскопом, присоединяют к концам A и B некоторого участка цепи, сопроти-

вление котораго можно регулировать любымъ, вполне опредѣленнымъ образомъ; при этомъ элементъ располагаютъ такъ, чтобы онъ противодействовалъ току, который возникъ бы въ отвѣтвлении при отсутствіи элемента. Если (положительный) токъ вступаетъ въ этотъ участокъ въ точкѣ A , то (отрицательный) цинковый или кадмевый полюсъ элемента нужно, слѣдовательно, соединить съ точкой B . Теперь остается найти то сопротивление R , которое необходимо ввести между обѣими точками, чтобы свести на нѣтъ токъ въ гальваноскопѣ въ отвѣтвлении. Тогда искомая сила тока въ главной цѣпи $i = E/R$, гдѣ E напряженіе (электродвижущая сила) нормальнаго элемента. Переменное сопротивление R получаютъ посредствомъ скользящаго контакта или, при точныхъ измѣреніяхъ, посредствомъ реостата.

Примѣненіе скользящаго контакта. Пусть въ цѣпи тока

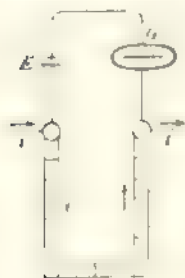


находится голая проволока, сопротивление которой на каждую единицу длины извѣстно въ омахъ. Къ одному изъ концовъ проволоки и къ скользящему контакту присоединяютъ вышеописаннымъ образомъ нормальный элементъ и гальваноскопъ и ищутъ то положеніе контакта, при

которомъ токъ исчезаетъ. Если назвать черезъ R сопротивление введеннаго при этомъ отрезка проволоки, то $i = E/R$.

Это слѣдуетъ непосредственно изъ втораго правила Кирхгофа (80 I). Именно, для круга, заключающаго въ себѣ E и R , должны быть $iR = E$, ибо въ отвѣтвленіи токъ равенъ нулю.

Примѣненіе реостата. Пусть въ цѣпи измѣряемаго тока i находится реостатъ, къ концамъ котораго и присоединяется отвѣтвление съ E и G . Изъ реостата берутъ столько сопротивления R , чтобы токъ въ G исчезъ; при этомъ опять $i = E/R$.

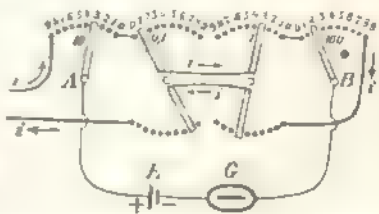


Здѣсь однако слѣдуетъ имѣть въ виду, что при введеніи R главный токъ также измѣняется. Чтобы этого не было, необходимо изъ главной цѣпи выключать каждый разъ столько сопротивления, сколько вводится въ R ; съ этой цѣлью въ главную цѣпь долженъ быть включенъ еще одинъ реостатъ.

Обычно применяется этот способ при испытании инструментовъ для измѣрения тока. Въ этомъ случаѣ нѣтъ надобности поддерживать совершенно опредѣленные силы тока, и потому въ главной цѣпи достаточно имѣть только одно сопротивление для регулировки силы тока.

Компенсационный приборъ. Приборы, специально предназначенные для измѣрения тока посредствомъ компенсации, автоматически сохраняютъ полное сопротивление постояннымъ, измѣнение сопротивления между точками развѣтвления *A* и *B* достигается здѣсь передвиженіемъ вращающейся ручки, самія же сопротивления расположены десятками. Выбѣгъ съ ручкой вращается ея продолженіе по другую сторону, продолженіе это изолировано отъ ручки и включаетъ или включаетъ во вѣтвильную цѣпь то сопротивление, которое ручка включаетъ или выключаетъ между точками *A* и *B* (Фесснеръ). См. рисунокъ.

Рисунокъ показываетъ, какъ это дѣлается въ реостатъ состоящемъ, въ общемъ изъ 999,9 ома именно изъ 9 десятыхъ, единицъ, десятковъ и сотенъ. Отвѣтвление съ нормальнымъ элементомъ присоединено къ ручкамъ *A* и *B*, между которыми подходящей установкой четырехъ ручекъ можно ввести любое сопротивление отъ 0,1 до 999,9. Измѣряемый же токъ при этомъ все время течетъ черезъ сопротивление 999,9, потому что число единицъ или десятыхъ долей, выключаемое дѣвятью ручкой сверху, само собой включаетъ нижнимъ ся концомъ



Примеръ. Компенсационное сопротивление на рисунокъ составляетъ $R = 233,1$ ома Пусть компенсирующий элементъ будетъ катодный нормальный элементъ (стр 203), следовательно $E = 1,019$ вольтъ. Следовательно, $i = E : R = 1,019 : 233,1 = 0,00437$ ампера.

Чтобы получать на компенсационномъ приборѣ силы тока или (согласно 100 III) напряжения безъ вычисления, поступаютъ такъ. Сначала устанавливаютъ въ немъ токъ i , выражаемый круглымъ числомъ, напримѣръ, 0,1 ампера, погасивъ токъ въ катодномъ элементѣ, приложенномъ къ 1,19 ома (съ помощью регулировки въ реостатѣ въ главной цѣпи). Для такихъ цѣлей сдѣланы въ 1,19 и въ 10,19 ома часто добавляются къ прибору особые. Отъ этого тока i можно на компенсационномъ приборѣ отвѣтвить любые опредѣленные напряжения ($i \cdot R$) которыми (какъ указано на пред. стр.) можно пользоваться вмѣстѣ E для измѣрения силъ тока или (по 100 III) для измѣрения другихъ напряженій способомъ компенсации.

Когда требуется умѣренная точность, нормальнымъ элементомъ можетъ служить аккумуляторъ ($E = 2.02$ вольта) или элементъ Даніэля ($E = 1.1$ вольта). Въ этомъ случаѣ никакихъ трудностей не представляется. Употребляя же ртутные элементы (ср. стр. 202) съ цинкомъ (Кларкъ) или кадмиемъ (Вестонъ), при подборѣ компенсирующаго сопротивленія слѣдуетъ имѣть въ виду, что эти элементы наносятъ, не имѣя своей электродвижущей силы, лишь очень слабые токи. Подбирая сопротивление, необходимо поэтому включать въ цѣпь такого нормальнаго элемента значительное сопротивление и не удалять его до тѣхъ поръ, пока компенсация не будетъ почти достигнута.

89. Испытаніе прибора для измѣренія тока. Эмпирическое опредѣленіе переводнаго множителя

Задачи эти тождественны съ задачей измѣрить силу тока въ цѣпи, въ которую вставленъ испытуемый приборъ, по существу онѣ, слѣдовательно, заключаются въ 81, 87 и 88.

Дѣленія на циферблатѣ измѣрителя тока проверяютъ въ нѣсколькихъ точкахъ, число которыхъ должно соответствовать обстоятельствамъ. Отсюда выводятъ таблицу для всей шкалы — проще всего графически (8), нанося дѣленія, какъ абсциссы, а соответствующія силы тока или поправки къ отчетамъ силы тока, какъ ординаты. Нанесенныя такимъ образомъ на чертежѣ точки, ходъ которыхъ окажется правильнымъ, соединяютъ кривой, а на основаніи послѣдней составляютъ таблицу для каждаго дѣленія шкалы или черезъ каждыя 10 дѣлений, въ этомъ родѣ.

Если для данного инструмента извѣстенъ законъ, по которому отклоненіе возрастаетъ съ силою тока, то достаточно найти только переводный множитель \mathcal{C} изъ одного лишь наблюденія отклоненія e при извѣстной силѣ тока i . Напримѣръ, для зеркальнаго гальванометра (83) $i = \mathcal{C} \cdot e$, слѣдовательно, $\mathcal{C} = i/e$, для тангенс-гальванометра $i = \mathcal{C} \operatorname{tg} \alpha$, откуда $\mathcal{C} = i/\operatorname{tg} \alpha$; для динамометра $i = \mathcal{C} \cdot \sqrt{e}$, слѣдовательно, $\mathcal{C} = i/\sqrt{e}$.

Для одного и того же зеркальнаго гальванометра \mathcal{C} , конечно, обратно пропорционально разстоянію шкалы l . Абсолютнымъ переводнымъ множителемъ $\tilde{\lambda}$ называется множитель, дающій силу тока при умноженіи на отклоненіе φ , измѣренное въ абсолютной мѣрѣ (1, 3, Такъ какъ, по 25, $\varphi = e/(2.1)$, то $\tilde{\lambda} = \mathcal{C} \cdot 2.1$ или $\mathcal{C} = \tilde{\lambda}/(2.1)$.

Отсюда определяется \mathcal{E} для данного разстоянія шкалы, если λ измерено разъ навсегда.

Испытаніе посредствомъ нормальнаго инструмента приблизительно равной чувствительности

Включаютъ испытуемый и нормальный инструментъ вмѣстѣ съ реостатомъ въ цѣпь подходящей батареи и устанавливаютъ желательныя силы тока измѣненіемъ числа элементовъ и сопротивленія реостата.

Нормальнымъ инструментомъ, сильно отличающимся по чувствительности

Поступаютъ такъ же, съ тою только разницею, что болѣе чувствительный инструментъ снабжается отвлѣщеніемъ (86), позволяющимъ протекать черезъ инструментъ лишь нѣкоторой извѣстной части тока. Эта часть составляетъ $\frac{z}{z + r}$, если z сопротивление отвлѣченія, r отвлѣченного гальванометра, причемъ въ r входитъ сопротивление, включаемое, въ случаѣ надобности, послѣдовательно съ гальванометромъ. Показанія этого инструмента слѣдуетъ поэтому помножать на $\frac{z + r}{z}$ или на $1 + \frac{r}{z}$ и затѣмъ уже сравнивать съ показаніями другого инструмента.

Съ помощью вольтметра

Одинъ и тотъ же токъ заставляють въ теченіе опредѣленнаго времени протекать черезъ гальванометръ и вольтметръ. Силу тока находятъ, какъ указано въ 87. Такъ какъ токъ не постояненъ, то наблюдаютъ гальванометръ, напрямь, каждую минуту и окончательно берутъ среднее изъ отчетовъ.

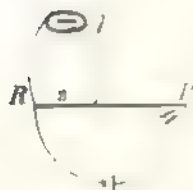
Для сильныхъ токовъ подходитъ вольтметръ мѣдный или съ гремучимъ газомъ (1-ый чертежъ стр. 216), для слабыхъ — серебряный или водородный (2-ой чертежъ стр. 216). При гальванометрѣ (но не при вольтметрѣ!) можно сдѣлать отвлѣченіе, какъ описано выше.

Съ помощью извѣстной электродвижущей силы

1. Непосредственно. Къ чувствительнымъ приборамъ, измѣряющимъ токъ, можно примѣнять очень простой и часто достаточный способъ, состоящій въ томъ, что образуютъ цѣпь изъ этого прибора, источника извѣстной электродвижущей силы (80 II) (Даніэль,

аккумуляторъ, для чрезвычайно чувствительныхъ инструментовъ даже нормальные элементы) и изъ извѣстнаго сопротивленія. Если электродвижущая сила составляетъ E вольтъ, полное сопротивление w омовъ, то сила тока $i = E/w$ амперъ.

w состоитъ изъ включеннаго сопротивленія, гальванометра и элемента. Последнимъ слагаемымъ часто можно пренебречь



Если въ распоряженіи нѣтъ достаточно большихъ сопротивленій, то гальванометръ присоединяютъ къ отвѣтвленію. Пусть сопротивленіе послѣдняго будетъ z , W полное сопротивленіе цѣпи за исключеніемъ вѣтви гальванометра, самый же гальванометръ пусть имѣетъ сопротивленіе γ ; тогда (легко выводится изъ правилъ Кирхгофа; 80 I)

$$i = E \cdot z / (W\gamma + Wz - z^2).$$

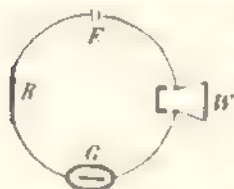
2. Компенсацией. Этотъ способъ описанъ въ 88, стр. 218.

О баллистической постоянной прибора для измѣренія тока см. 106.

90. Опредѣленіе сопротивленій посредствомъ замѣны

О единицахъ сопротивленія и реостатахъ см. 80 I и IV, о идеальныхъ соединеніяхъ 80 III.

Въ основаніи здѣсь лежитъ положеніе: сопротивленія равны, если они, будучи порознь введены въ одну и ту же цѣпь, даютъ одну и ту же силу тока.



Итакъ, составляють цѣпь¹⁾ изъ постояннаго элемента E (аккумуляторъ, Даніэль), указателя тока G и реостата R . Измѣряемое сопротивленіе W на рисункѣ изображено включеннымъ; но его можно выключать, на примѣръ, при помощи побочнаго замыканія, тѣхнаго сопротивленія (обыкновенные замы-

катели тока часто оказываются для этой цѣли неудовлетворительными). Сначала наблюдаютъ установку, когда W введено въ цѣпь,

¹⁾ При разсматриваніи схематическихъ рисунковъ слѣдуетъ представлять себѣ нижнюю сторону ра. положеніемъ ближе къ наблюдателю, т. е. въ данномъ случаѣ ближе всего къ наблюдателю лежитъ гальванометръ со стрѣлкой, а R и W расположены такъ, чтобы быть подъ руками наблюдателя. Овалы или круглыя проводники съ изогнутой стрѣлкой обозначаютъ указатели или измѣрители тока.

а реостатъ выключенъ (всѣ штепселя вставлены). Затѣмъ выключають W , то сопротивление реостата, которое необходимо ввести, чтобы стрѣлка приняла прежнее положение, равно искомому сопротивленію W .

Если устройство реостата не позволяетъ вводить сопротивления съ произвольно малыми промежутками, а лишь скачками, то приближаютъ къ интерполированію (7). Наблюдаютъ установку стрѣлки при ближайшемъ меньшемъ и при ближайшемъ большемъ сопротивленіи реостата. Если разнѣца незначительна, то можно допустить пропорциональности между увеличеніемъ сопротивления и уменьшеніемъ отклоненія. Инакъ, если по стрѣлкѣ были сдѣланы отчеты

а при искомомъ сопротивленіи W ,

α_1 и α_2 при сопротивленияхъ реостата R_1 и R_2 ,

то
$$W = R_1 + (R_2 - R_1) \frac{\alpha - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}.$$

Примѣръ.	Включено	W	$R_1 = 14$	$R_2 = 15$ омовъ
	Установка стрѣлки	$\alpha = 45.3$	$\alpha_1 = 47.9$	$\alpha_2 = 44.5$
	тогда	$W = 14 + 2.6 \frac{3.4 - 14.76}{0.4}$		

Этотъ методъ при не слишкомъ малыхъ сопротивленияхъ даетъ посредственную точность. Незначительныя измѣненія элемента исключаются цѣлесообразнымъ повтореніемъ наблюденія и взятіемъ средняго, при быстромъ наблюденіи измѣненія эти также оказываются безвредными.

Если измѣряемое сопротивление мало, то стрѣлка можетъ быть отброшена за предѣлы шкалы. Можно помѣшать этому, включивъ часть реостата въ качествѣ постояннаго балласта, однако это вредитъ чувствительности метода. Лучше поэтому уменьшить отклоненія при помощи неподвижнаго установочнаго магнита, или же уменьшить электродвижущую силу по способу, указанному на чертежѣ стр. 203.

Развѣденное соединеніе. Только что упомянутое препятствіе можно устранишь также слѣдующимъ образомъ. Вмѣсто того, чтобы включать гальванометръ и сопротивления въ одинъ и тотъ же токъ послѣдовательно, развѣтвляютъ токъ между ними, напримѣръ, такъ, какъ показано на прилагаемой схемѣ. Равенство отклоненій свидѣтельствуетъ, какъ и прежде, о равенствѣ замѣняющихъ другъ друга сопротивленій.



91. Определѣніе сопротивленій измѣреніемъ силы тока

I. Прямые способы

№ 2 имѣетъ значеніе скорѣе, какъ упражненіе въ примѣненіяхъ законовъ Ома, чѣмъ для пользованія на практикѣ.

1. Батарея извѣстной электродвижущей силы E замыкается измѣряемымъ сопротивленіемъ w и гальванометромъ, показывающимъ силу тока въ амперахъ. Если наблюдается токъ въ i амперъ, то E/i есть сопротивленіе W всей цѣпи въ омахъ; чтобы получить w , нужно вычесть изъ него сопротивленія гальванометра и батареи. При достаточно высокой чувствительности гальванометра этотъ способъ можно примѣнить къ измѣренію весьма большихъ сопротивленій; двумя другими сопротивленіями часто можно бываетъ при этомъ пренебречь.

Примѣръ. Аккумуляторъ ($E = 2.02$ вольта, сопротивленіемъ можно пренебречь, ср. стр. 202) замкнутый Вестоннскимъ нѣмрителемъ тока съ сопротивленіемъ 1.0 омъ и сопротивленіемъ w , даетъ токъ въ 0.043 ампера. Отсюда $W = 2.02/0.043 = 46.9$ омовъ.

2. „Способъ Ома“. Здѣсь требуются лишь относительныя измѣренія тока. Сопротивленіе батареи + гальванометръ исключается. Постоянный элементъ замыкаютъ сначала только черезъ гальванометръ (въ случаѣ надобности вводится балластное сопротивленіе); пусть сила тока J . Затѣмъ въ эту цѣпь включают измѣряемое сопротивленіе w ; сила тока i_0 . Наконецъ, вмѣсто w вставляютъ извѣстное сопротивленіе R ; сила тока $= i$. Тогда

$$w = R \frac{J - i}{i - i_0}$$

J, i_0, i требуется знать лишь въ относительной мѣрѣ, т. е. опредѣлить ихъ посредствомъ угловъ отклоненія или ихъ тангенсовъ и т. д.

Формула вытекаетъ изъ равенствъ $E = J r = (i + i_0) (r + w) = i(r + R)$

II. Способъ, основанный на отвѣвленіи

Такие способы важны между прочимъ тогда, когда требуется опредѣлить сопротивленіе проводниковъ, измѣняющихся подъ дѣйствіемъ тока, напримѣръ, электрическихъ тамбовъ по времени свѣщенія. Здѣмъ, они цѣльны при сравненіи малыхъ сопротивленій.

Очень часто и съ хорошимъ результатомъ можно примѣнять слѣдующій приемъ. Сравнѣаемыя сопротивленія W и R включаются въ цѣпь постоянного тока послѣдовательно. Къ концамъ сперва одного, потомъ другого сопротивленія присоединяютъ вѣтвь, въ

которую включено весьма большое сопротивление и чувствительный гальванометръ или измѣритель напряжения (100). Если оба сравниваемые сопротивления весьма малы по отношению къ сопротивленію вѣтви γ , то они относятся между собою, какъ силы тока (i_W и i_R) или напряжения въ присоединенныхъ къ нимъ отвѣтвленіяхъ.

Въ противномъ случаѣ достаточно i_W и i_R умножить на

$$1 - R(i_W - i_R) / (\gamma + R)$$



92. Дифференціальный гальванометръ

Методы 92 и 93 чувствительнѣе чѣмъ предыдущіе и не зависятъ отъ постоянства батареи.

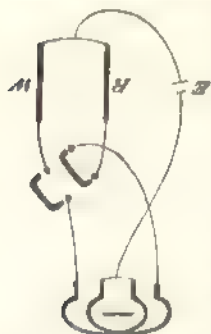
Здѣсь пользуются положеніемъ: два сопротивления равны, если они, будучи введены, какъ двѣ параллельныя вѣтви въ цѣпь тока, раздѣляютъ токъ на двѣ равныя части. Равенство того и другого изслѣдуется посредствомъ дифференціального мультипликатора, состоящаго изъ двухъ навитыхъ вмѣстѣ проволокъ одинаковой длины. Если одновременно пропустить черезъ одну проволоку одинъ изъ токовъ, черезъ другую — другой въ противоположномъ направленіи, то при равенствѣ токовъ стрѣлка остается въ покоѣ.

Чертежъ показываетъ, какъ производятся соединенія при опредѣленіи сопротивленій. При A схематически изображены обѣ обмотки гальванометра съ ихъ концами (последніе могутъ быть расположены и иначе, это слѣдуетъ выяснитъ испытаніемъ). У обоихъ среднихъ концовъ раздѣляется токъ элемента E , такъ что развѣтвленные токи обходятъ обѣ обмотки въ противоположныхъ направленіяхъ. Отъ другихъ концовъ одинъ изъ развѣтвленныхъ токовъ пропускается черезъ измѣряемое сопротивление H , другой — черезъ остатокъ H' , послѣ чего оба тока снова соединяются у другого полюса элемента. Соединительныя проволоки, ведущія къ H и H' , выбираютъ съ одинаковымъ сопротивленіемъ.



Сопротивленіе остатка, которое слѣдуетъ въносить, чтобы привести стрѣлку въ положеніе, занимаемое ею при отсутствіи тока, равно сопротивленію H . Если въ остаткѣ нѣтъ сопротивления съ точности равнаго, то пользуются интерполяціоннымъ грѣшномъ, описаннымъ на стр. 223.

Испытание дифференциального гальванометра. 1) Удовлетворяет ли прибор условно, что токи равны, когда стрелка не дает отклонения, испытываютъ тѣмъ, что одинъ и тотъ же токъ пропускаютъ одновременно черезъ обѣ обмотки въ противоположныхъ направленияхъ, для этого соединяютъ (считая слева направо) концы №. 1 и 2 между собою, а 3 и 4 съ полюсами элемента. Стрелка при этомъ должна остаться въ покоѣ. 2) Сопротивления обѣихъ обмотокъ должны быть равны, ибо эти сопротивления присоединяются къ сравниваемымъ. Въ этомъ убѣждаются послѣ предыдущаго испытанія тѣмъ, что токъ элемента развѣтвляются въ обѣ обмотки по прежней схемѣ (тотъ же чертежъ) но только безъ включения сопротивленій, стрелка опять должна остаться въ покоѣ.



Коммутаторъ. Можно получить правильный результатъ независимо отъ точнаго выполнения этихъ условий, пользуясь коммутаторомъ, позволяющимъ замѣнять сопротивления W и R другъ другомъ. W и R равны, если при замѣнѣ ихъ другъ другомъ установка стрѣлки не измѣняется. Или: если R есть реостатъ, и мы находимъ, что для неподвижности стрѣлки приходится включить R_1 , а при переставленномъ коммутаторѣ R_2 , то

$$W = \frac{1}{2} (R_1 + R_2).$$

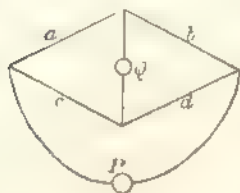
93. Мостъ Витстона

Витстонской комбинацией проводниковъ называется развѣтвление тока по двумъ проводникамъ, между которыми установлено поперечное соедине-

нiе, „мостъ“; такимъ образомъ получаются четыре „вѣтви“ a, b, c, d . Пусть P означаетъ источникъ тока, тогда проводникъ заключающій въ себѣ указатель тока (ψ , будетъ мостомъ. По немъ вообще гнорятъ, течетъ такъ, направление и сила котораго зависятъ отъ отношенія сопротивленій въ четырехъ вѣтвяхъ. Токъ въ мостѣ исчезаетъ лишь тогда, когда существуетъ пропорция

$$a:b=c:d.$$

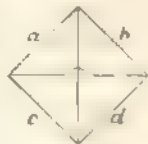
Доказательство. Вообразимъ сначала, что проводника, образующаго мостъ, совсемъ нѣтъ. По каждому изъ двухъ путей напряжение постепенно убываетъ, начиная отъ значения существующаго въ мѣстѣ входа тока, значение это для обѣихъ вѣтвей одинаково, до значения въ мѣстѣ выхода; при этомъ падение или „потеря напряжения“ на пути до какой-нибудь точки пропорционально пройденному до этой точки сопротивленію. Слѣдательно, въ двухъ точкахъ, раздѣляющихъ каждыи изъ двухъ путей — верхний и ниж-



ний на пару сопротивлений a и b , c и d , напряжение будет одинаково въ томъ случаѣ, если $a:b = c:d$ поэтому, если на эти точки наложить мость, то черезъ послѣдній токъ течь не будетъ.

Другое доказательство см. 80 I, стр. 201.

Простое разсужденіе убѣждаетъ въ томъ, что это соотношеніе остается справедливымъ и въ томъ случаѣ, если источникъ и указатель тока будутъ переставлены одинъ на мѣсто другого, всего яснѣе это становится, если перечертить фигуру такъ, какъ изображено здѣсь рядомъ. Горизонтальная діагональ содержитъ элементъ, изолированный отъ нея вертикальная діагональ образуетъ мость. Токъ въ мостѣ исчезаетъ, когда $a:b = c:d$, или когда $ad = bc$. Но положеніе сопротивленій a , d и b , c относительно обоихъ диаметровъ одно и то же, и потому, при существованіи вышеуказаннаго соотношенія, токъ долженъ исчезать въ горизонтальномъ диаметрѣ, если источникъ тока лежитъ въ вертикальномъ.



I Мость съ сопротивленіями попарно равными

Пусть a и b будутъ два проводника съ равными сопротивленіями, c измѣряемое сопротивление, d реостатъ; въ E находится источникъ тока, въ G гальваноскопъ. Здѣсь c равно тому сопротивленію реостата, которое надо включить въ d , чтобы токъ въ G исчезъ.

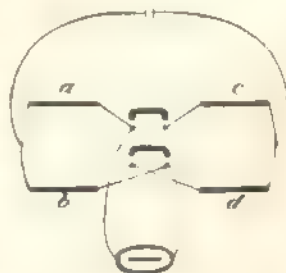
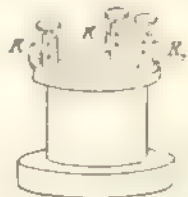
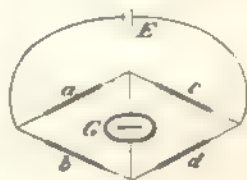
Можно также въ вѣтви a и c включить сопротивления заведомо равныя, а въ b и d — сравниваемыя.

Для сопротивленія, образующія равныя вѣтви, могутъ состоять изъ двухъ равныхъ проволокъ, навитыхъ вмѣстѣ. Два конца присоединены къ клеммѣ K , два другіе — къ K_1 и K_2 . Отрѣзки по 10 омовъ для большинства цѣлей оказываются пригодными.

Интерполяция. Если въ реостатѣ нѣтъ сопротивленія въ точности равнаго, то производить интерполяцію посредствомъ двухъ со сѣднихъ наблюденій (см. 7 и 80).

Коммутаторъ. Взаимное перемѣшеніе сопротивленій и здѣсь дѣлаетъ работу независимой отъ точнаго равенства сопротивленій a и b : именно, c и d равны въ томъ случаѣ, если при ихъ взаимномъ перемѣщеніи гальваноскопъ не измѣняетъ своей установки.

Или же поступаютъ такъ: пусть d будетъ реостатъ. Чтобы привести стрѣлку къ нулю, при одномъ расположеніи требуется ввести со-



противление R_1 , послѣ переключенія R_2 ; тогда среднее значеніе $\frac{1}{2}(R_1 + R_2)$ даетъ правильную величину для сопротивленія c . Какъ именно слѣдуетъ расположить коммутаторъ для такого перемищенія, показывается чертежъ

Экстратокъ Работая съ сопротивлениями, обладающими самоиндукшей, въ особенности съ электромагнитами, нельзя довольствоваться мгновеннымъ замыканіемъ, потому что возникающіе при этомъ экстратоки могутъ повести къ ошибкѣ. Съ другой стороны, вслѣдствіе развитія теплоты, не слѣдуетъ болѣе сильный токъ безъ надобности держать долгое время замкнутымъ. По этой причинѣ устроены особые ключи, дѣлающіе экстратокъ безвреднымъ.

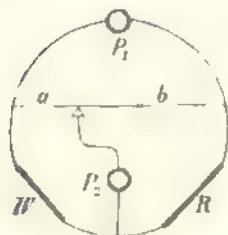
Опредѣленіе очень большихъ или очень малыхъ сопротивленій. Здѣсь можетъ оказаться необходимымъ или выгоднымъ брать вѣтви a и b не равными, а въ извѣстномъ отношеніи ($1 : 10$, $1 : 100$, при сопротивленіяхъ въ миллионы омовъ даже $1 : 1000$); тогда (верхній чертежъ) $c : d = a : b$.

II. Сравненіе сопротивленій на проволочномъ мостѣ Витстона-Кирхгофа

Благодаря простотѣ своихъ вспомогательныхъ средствъ, этотъ способъ, позволяющій сравнивать неразныя сопротивления (напримѣръ, неизвѣстное сопротивление съ единицей или десяткомъ и т. д.), применяется особенно часто.

На рисункѣ W и R обозначаютъ сравниваемые сопротивления, a и b натянутую, правильно цилиндрическую проволоку, для кото-

рой сопротивления можно принять пропорціо-
нальными длинѣ. По проволоку скользитъ
передвижной контактъ, отъ котораго про-
водъ идетъ къ мѣсту соединенія сопротивленій
 W и R .



P_1 и P_2 обозначаютъ источникъ тока
и гальваноскопъ. Въ принципѣ безразлично,
въ какой изъ этихъ двухъ точекъ помѣстить
гальваноскопъ и въ какой источникъ тока

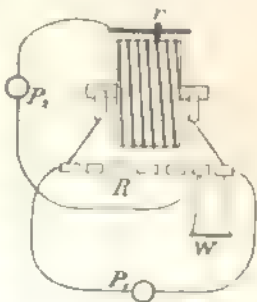
Если послѣдній перенести въ P_2 , то подвижной контактъ дѣй-
ствуетъ надежнѣе, что очень желательно при работѣ.

Посредствомъ пробъ находять то отношеніе между a и b , при
которомъ гальваноскопъ не даетъ тока. Тогда $W : R = a : b$.

Для отысканія $a : b$ или его логарифма существуютъ таблицы, болѣе
полныя составлены Обухомъ, болѣе краткія помѣщаются въ учебникахъ фи-
зическаго практикума. Самыя дѣльныя вдоль проволоки могутъ прямо давать
отношеніе $a : b$, ср. стр. 235 внизу.

Если R и W малы, то слѣдуетъ принять во вниманіе соединительныя проволоки, сопротивление которыхъ складается съ сопротивлениями, подлежащими сравненію. Проволоки эти, очевидно, не оказываютъ никакого вліянія, если сопротивления ихъ относятся, какъ $R : W$. Поэтому, на основаніи предварительнаго опыта, подбираютъ проволоки (одинаковаго сорта) такъ, чтобы полныя длины ихъ, по ту и другую сторону, приблизительно удовлетворяли этому отношенію. Съ этою цѣлью удобно вести проводъ къ P_2 отъ клеммы, которую можно переставлять вдоль голой проволоки, соединяющей W и R .

Мостъ въ формѣ вала. Сподручите и точнѣ натянutoй измѣрительной проволоки оказывается проволока, намотанная на вращающійся валъ и соединенная концами со стойками, поддерживающими ось; проволока дѣлаетъ десять оборотовъ, и каждый оборотъ вала имѣетъ 100 подраздѣленій. Къ концамъ проволоки присоединены, по-первыхъ, измѣряемое сопротивление W и реостатъ R (который часто наглухо прикрѣпленъ къ инструменту) и, во-вторыхъ, проволоча выдунная къ обнаружителю тока P_1 . Источникъ тока P_2 присоединенъ къ подвижному контакту (контактное колесо) и къ мѣсту соединенія R и W . Въмѣсто постояннаго тока и гальванометра можно при измѣреніи сопротивленій съ достаточно малой самоиндукціей примѣнять переменныя токи и телефоны. См. чертежъ стр. 235 вверху.



94. Сравненіе сопротивленій по наблюденіямъ надъ затуханіемъ гальванометра

Магнитная стрѣлка, колеблющаяся внутри замкнутаго мультипликатора, наводитъ на нее токи, дѣйствующіе замѣтляющимъ образомъ на движеніе стрѣлки. Логарифмическій декрементъ 27, достаточно малыхъ колебаній постояненъ, часть его, зависящая отъ упомянутыхъ токовъ, обратно пропорциональна полному сопротивленію γ и мультипликаторъ и замыкающей проволоки.

Пусть w_1 и w_2 сравниваемыя сопротивленія. Если наблюдаются логарифмическіе декременты

λ_1 , когда мультипликаторъ замкнутъ самъ на себя,

λ_1 и λ_2 , когда онъ замкнутъ соответствующими сопротивлениями w_1 и w_2 ,

λ' при разомкнутомъ мультипликаторѣ, т. е. при успокоеніи, напримѣръ, отъ механическаго сопротивленія воздуха,

$$\text{то } w_2 = \frac{\lambda_0 - \lambda_1 \lambda_2}{\lambda_0 - \lambda_2 \lambda_1} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda'}$$

Это следует из соотношения

$$(\lambda_0 - \lambda') : (\lambda_1 - \lambda') : (\lambda_2 - \lambda') = 1 : \gamma : 1 : (\gamma + w_1) : 1 : (\gamma + w_2).$$

Кромѣ того, $\gamma : w_1 = (\lambda_1 - \lambda) : (\lambda_0 - \lambda_1)$, откуда можно опредѣлить сопротивление гальванометра γ , если сопротивление w_1 извѣстно, или наоборотъ.

Периодъ колебания и затуханіе могутъ быть увеличены астазироваіемъ извѣтъ (83).

Если λ значительно, то придется ввести поправку, именно отъ каждаго наблюденнаго λ отнять λ' .

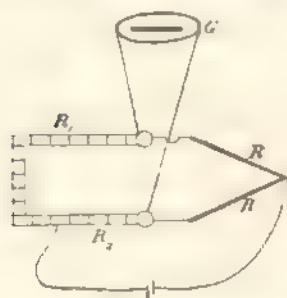
95. Калиброваніе реостата или проволоки Витстонова моста

1. Штенсельный реостатъ

Проѣрка и опредѣленіе ошибокъ реостата проще всего производится при помощи нормальнаго реостата. Если такового не имѣется, то, какъ при наборѣ разновѣсокъ сравниваютъ отдѣльныя составныя части или суммы одинаковаго наименованія между собою а одну изъ составныхъ частей — опять-таки съ нормальнымъ сопротивленіемъ.

Примѣнимъ для сравненія мостъ Витстонова (93). Полуюсь элемента соединяють съ одной изъ металлическихъ накладокъ реостата. Если у реостата нѣтъ соотвѣтствующаго приспособленія для этой цѣли, то устраниаютъ соединеніе въ мѣстѣ прикрѣпленія проволоки или очищаютъ часть металлической поверхности. Нѣтъ необходимости, чтобы въ мѣстѣ контакта совсѣмъ не было сопротивленія.

Отъ другого полюса элемента проводъ идетъ къ мѣсту развѣтвленія двухъ равныхъ сопротивленій (см. также рисунокъ



на стр. 227). Короткія проволоки отъ R къ R_1 и R_2 должны имѣть равныя сопротивленія, или же, при случаѣ, могутъ служить для исправленія неравенства R и R . По обѣ стороны отъ мѣста развѣтвленія на реостатъ вводятъ сравниваемыя сопротивленія R_1 и R , одинаковаго наименованія. Наблюдаютъ установку стрѣлки. Затѣмъ добавляют къ сопротивленію R_1 (гдѣ

можно, къ меньшему) сравнительно малое известное сопротивление δ (1, или 0.1, или 0.01) и наблюдаютъ установку стрѣлки e . Пусть e_0 будетъ положеніе покоя при отсутствіи тока. Тогда

$$R_2 = R_1 + \delta \cdot \frac{e}{e - e_0}.$$

Равенство R и R проверяютъ взаимнымъ перемѣщеніемъ См. также о коммутаторѣ стр. 227.

Вмѣсто R и R можно пользоваться проволоочнымъ мостомъ съ передвижнымъ контактомъ (см. стр. 228); въ этомъ случаѣ отношеніе $R_1 : R_2$ находятъ изъ одной только установки. Если послѣдняя уклоняется на ϵ дѣлений отъ середины (истинной) моста, то для случая моста, раздѣленнаго на 1000 частей, $\frac{R_1}{R_2} = \frac{500}{500 - \epsilon}$, что почти равно $1 + 0.004 \epsilon$ (см. 5, формула 8)

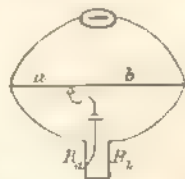
При сравненіи самыхъ малыхъ сопротивленій реостата, когда сопротивления у штепселей являются источникомъ ошибокъ, можно примѣнять способъ, основанный на отвѣтвленіи (91 II).

Вычисленіе таблицы поправокъ. Если разности номинально равныхъ сопротивленій найдены такимъ образомъ изъ наблюденія (например, $10'' - 10''$, $20'' - (10'' + 10'')$, $20'' - 20''$ и $50'' - (20'' + 20'' + 10'')$, гдѣ $10''$ представляетъ собою сумму единиц), то таблица поправокъ получается совершенно такъ же, какъ для набора разнѣсокъ (14)

При сочетаніи 1, 3, 2, 1 сравниваютъ 4 съ $3 + 1$, 3 съ $2 + 1$, 2 съ $1 + 1$ и 1 съ 1, гдѣ подъ 1' подразумѣвается сумма сопротивленій ближайшаго низшаго десятка. Для реостатовъ, гдѣ каждый десятокъ составленъ изъ 10 равныхъ сопротивленій, примѣяень самъ собою.

II. Калиброваніе проволоки при помощи реостата

Проволоку a и реостатъ включаютъ такъ, какъ показываетъ чертѣжъ. Берутъ изъ реостата сопротивления въ отношеніи $R_a : R_b$ (например, разъ за разомъ 1.9, 2.8, 3.7 и т. д., не пользуясь слишкомъ малыми сопротивлениями) и каждый разъ опредѣляютъ соответствующее отношеніе $a : b = R_a : R_b$. Нѣсколько точекъ по близости отъ концовъ опредѣляютъ, кромѣ того, посредствомъ $R_a : R_b = 1 : 99$ и т. д. Проволоки, подводящія къ



R_a и R_b , выбираютъ достаточно толстыя, такъ что ими можно пренебречь.

Таблица поправокъ. Пусть проволока моста раздѣлена на 1000 частей. Если вышеуказаннымъ способомъ найдено, что точка a проволоки, которой безъ поправки соответствовало бы отношение $a : (1000 - a)$, въ дѣйствительности отвѣчаетъ отношенію $(a + \delta) : [1000 - (a + \delta)]$ — отношенія эти удобно брать изъ таблицъ Обаха, — то поправка, которую слѣдуетъ придавать къ отчету a , будетъ δ . Наносять δ , отвѣчающіе a , на координатную бумагу и соединяють точки кривою, изъ которой можно брать поправки или составить таблицу поправокъ. Чѣмъ чаще точки, тѣмъ меньше остается неопредѣленности.

96. Электропроводность электролитовъ

Если исключить химическія соединения, расплавленныя при повышенной температурѣ, то тѣлами, проводящими благодаря химическому разложению (перемѣненіе ионовъ), являясь въ сущности лишь растворы солей, кислотъ и оснований. Опредѣленія электропроводности могутъ имѣть цѣлью изученіе состоянія тѣла въ растворѣ (диссоціація, гидролизъ), электролитической подвижности его ионовъ или, наконецъ, концентрации раствора, напри- мѣръ, при опредѣленіяхъ растворимости тѣла.

Электропроводность вообще сильно возрастаетъ съ температурой, и на послѣднюю постъ му всегда слѣдуетъ обращать вниманіе. Часто температурный коэффициентъ и самъ по себѣ представляетъ интересъ.

Цилиндръ длины l и поперечнаго сѣченія q изъ проводника съ электропроводностью (или „удѣльной электропроводностью“) κ имѣетъ сопротивление

$$R = \frac{l}{\kappa q}.$$
 Прежде электропроводности электролитовъ относили къ рутин

при 0°, и онѣ всегда выражались малыми числами. Въ этомъ случаѣ κ получается въ рутинныхъ единицахъ и въ сантиметрахъ Сименса, если l измѣрено въ метрахъ, а q въ квадратныхъ миллиметрахъ.

Теперь изъ единицу электропроводности принимаютъ „и“ $1 \text{ о. ц. } 1^\circ$ — т. е. электропроводность тѣла, кубическаго сантиметра котораго имѣетъ сопротивление 1 омъ, наиболее хорошо проводящие водные растворы при температурѣ краѣй обла даютъ приблизительно такую электропроводность. Такъ какъ „и“ при 0° имѣетъ сопротивление 1.19630 ома, то электропроводность выраженную въ рутинныхъ единицахъ, для пересчета на „и“ слѣдуетъ умножить на 1.00530. Искл. сопротивление цилиндра длиной въ

l смъ съ поперечнымъ сѣчениемъ q см² равно $r = \frac{l}{\kappa q}$ омъ. И если для

опредѣленія электропроводности к измѣрили сопротивление этого цилиндра и нашли его $= \omega$, то $\kappa = \frac{l}{q} \frac{1}{\omega}$ (см. стр. 199).

1 к называется также удѣльнымъ сопротивлениемъ проводника l q , т. е. множитель, при умноженіи на 1 к дающій сопротивление цилиндрическаго пространства, называется электролитической емкостью (*Widerstandskapazität*) этого пространства.

Пространство произвольной формы между двумя электродами также имѣть въ этомъ смыслѣ опредѣленную электролитическую емкость, т. е. число C , которое при дѣленіи на электропроводность проводника κ даетъ сопротивление ω между электродами. Итакъ,

$$\omega = C/\kappa, \text{ или } C = \omega\kappa, \text{ или } \kappa = C/\omega.$$

На этомъ основанъ способъ опредѣленія электропроводности данной жидкости ею наполняютъ пространство съ извѣстной электролитической емкостью C (см. стр. 236) и опредѣляютъ сопротивление ω , а затѣмъ получаютъ

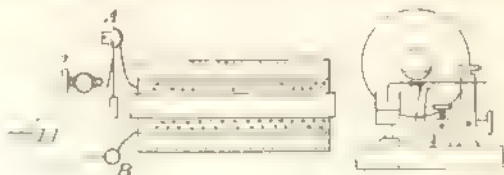
$$\kappa = C \cdot \frac{1}{\omega}.$$

Впрочемъ, это C есть ни что иное, какъ умноженное на 10000 чисто выражающее сопротивление того же пространства при заповненіи ртутью при ω въ единицахъ Сименса.

Поляризация электродовъ. Переменные токи. Токъ въ электричѣ всегда связанъ съ разложениемъ, при которомъ на электродахъ выделяются тоны. Это явление происходитъ вообще электродвижущую силу, направленную противъ тока поляризацию электродовъ, вѣдствие которой токъ ослабляется, а кажущееся сопротивление значительно увеличивается.

Поляризация не замѣтна при переменныхъ токахъ малаго периода между электродами съ достаточно большою поверхностью, чтобы не придавать бѣднѣшихъ размѣровъ прибору получаютъ такую поверхность, покрывая электроды посредствомъ электролиза мелки раздробленною платиновой чернью.

Возбудитель тока. Простѣйшимъ возбудителемъ переменныхъ токовъ является небольшою индукционный приборъ состоящій изъ жѣлѣзномъ сердечника и первичной катушки съ магнетикомъ. Непослѣдствіе прерывателя и изъ вторичной катушки въ которой при размыканіи и замыканіи первичной кѣли наводятся кратковременные токи одинаковой суммарной силы, но противоположнаго направленія. На рисункѣ, дающемъ разрѣзъ прибора, изображенъ платиновый прерыватель, а на видѣ сбоку — ртутный прерыватель. Правильное положеніе прерывателя находятъ посредствомъ пробъ, переминая

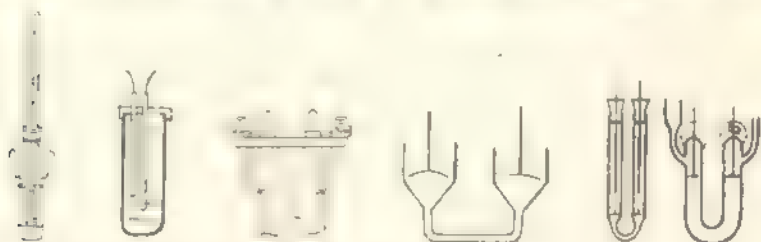


регулируемый винтъ чтобы предохранить ртуть отъ стораия во время проскакивания искры, ее покрываютъ слоемъ дестиллированной воды, которую время отъ времени мѣняютъ. Источникомъ тока служить аккумуляторъ или одинъ — два элемента Даниэля.

Правильно построенный прерыватель работаетъ бесшумно, въ особенности если приборъ стоитъ на кусочкѣ каучука. Если же шумъ есть то наблюдающее ухо затыкаютъ ватой или антифономъ.

Телефонъ, какъ средство для обнаруженія тока. Газванометръ не реализуется на переменные токи. Иногда пользуются динамометромъ, но по большей части телефономъ. Телефонъ слѣдуетъ плотно прижимать къ уху, индукционный приборъ долженъ стоять отъ него на некоторомъ разстоянн (1 м) во избѣжаніе непосредственнаго дѣйствія электромагнита на телефонъ.

Сосуды для измѣренія сопротивленія жидкостей. Для плохихъ проводниковъ, какъ вода и разбавленные растворы, могутъ служить для первыхъ формы, съ широкими, близкими другъ къ другу электродами, остальные для болѣе хорошихъ проводниковъ. Всѣ сосуды за исключеніемъ перваго слѣдуетъ ставить въ ванну съ термометромъ. Слѣдуетъ обращать

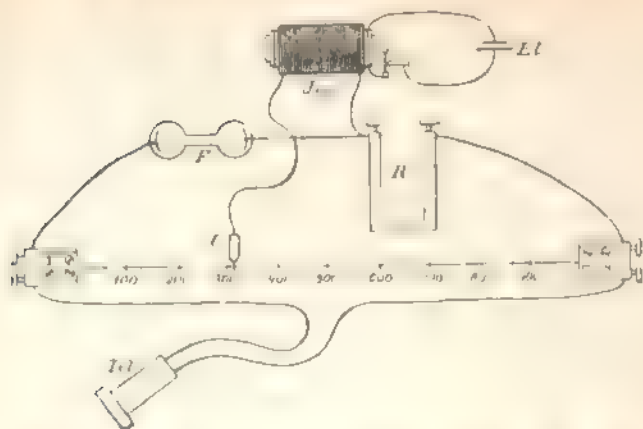


вниманіе на то, чтобы применяемые токи не были слишкомъ сильны и не производили бы измѣненія и увеличенія электропроводности.

Опредѣленіе сопротивленія проволочнымъ мостомъ (93 II)

R — электролитическій сосудъ съ жидкостью, R наборъ извѣстныхъ проволочныхъ сопротивленій, то и другое соединено, съ одной стороны, съ концами измѣрительной проволоки, съ другой стороны, между собою (чертежъ на слѣд. стр.) къ мѣсту ихъ взаимнаго соединенія и къ подвижному контакту подходятъ проволоки отъ полюсовъ вторичной катушки индукторія. Телефонъ присоединенъ къ концамъ измѣрительной проволоки.

Передвижной контактъ устанавливаютъ на той точкѣ шкалы, которая соответствуетъ полному исчезновению или минимуму звука въ телефонѣ. Причины плохого минимума могутъ заключаться въ поляризации, въ самондукции плохо намотанныхъ проволочныхъ катушекъ, а при большихъ сопротивленіяхъ еще и въ электро-статическ. емкости. Рес. о удобнѣе измѣрять сопротивленія, лежа-

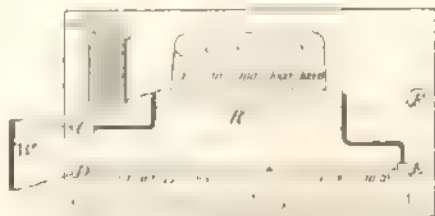


ция въ промежуткѣ отъ 30 до 1000 или до нѣсколькихъ 1000 омовъ. Поэтому по мѣрѣ возможности стараются подыскать сосуды, дающія такія сопротивленія.

Изъ сопротивленій R , предназначенныхъ для сравненія, предпочитаютъ брать тѣ, которыя даютъ установку контакта не слишкомъ далеко отъ середины проволоки.

Мостъ въ видѣ нава удобнѣе натянутой проволоки. На чертежѣ стр. 224 IV должно обозначать электролитическій сосудъ P_1 телефонъ, P_2 источникъ тока, т. е. вторичную катушку индукторія.

Въ маленькомъ мостикѣ (чертежъ) соединены всѣ части, необходимыя для измѣренія. Между C и D вставляютъ измѣряемое сопротивление, къ E и D (иногда къ E и F ; последнее соединено съ концомъ проволоки D) присоединяютъ телефонъ. Индукціонная катушка соединяетъ съ подвижнымъ контактомъ и съ точкой касанія между C и сопротивленіемъ резиста.



Элементъ присоединяютъ къ двумъ не нарисованнымъ клеммамъ. Переключатель на одномъ изъ этихъ нѣтъ позволяетъ включать индукторій и измѣрять обѣими способами сопротивленія постояннымъ токомъ, т. е. съ при мѣненіемъ гальванометра вмѣсто телефона.

Цѣлая подѣ проволокой такъ нанесены и занумерованы, что отчитанное число сразу даетъ отношеніе a/b .

Вычисленіе электропроводности. Если сопротивленіе жидкости въ сосудѣ емкости C см³ оказалась равнымъ n омамъ, то электропроводность $\kappa = C/n$.

Чтобы можно было поручиться за сотую процента к, температура должна быть известна съ точностью до $\frac{1}{20}$ градуса.

Определение электролитической емкости C сосуда. 1. Съ помощью нормальныхъ жидкостей. C получаютъ изъ равенства $C = k \cdot w$, измѣривъ сопротивление w , которое получается при наполнении сосуда какою-нибудь изъ слѣдующихъ нормальныхъ жидкостей, обладающихъ извѣстной электропроводностью:

Сѣрная кислота наибольшей электропроводности, 30% H_2SO_4 , $\kappa_{18} = 1.223$.

Насыщенный растворъ хлористаго натрія, приблизительно, 26%, предъ употребленіемъ основательно изболтать съ нѣбольшимъ ксяи.

Растворъ горькой соли наибольшей электропроводности 17.19 $MgSO_4$; $\kappa_{18} = 1.190$.

Нормальный растворъ хлористаго калия, т. е. содержащій 74.60 KCl въ литрѣ раствора. Также 1 в нормальнаго раствора KCl.

Насыщенный растворъ гипса, приготовленный на чистой водѣ и передъ употребленіемъ достаточно изболтанный. Небольшая муть не вредитъ.

Вотъ проводимости к этимъ жидкостямъ.

	H_2SO_4 макс.	NaCl насыщ.	$MgSO_4$ макс.	KCl норм.	KCl 1 в норм.	KCl 1 в норм.	Гипсъ насыщ.	
15°	0.7028	0.2015	0.01555	0.001254	0.01048	0.002243	0.001742	15°
16	.7151	.2063	.4676	.09443	1072	2294	1791	16
17	.7275	.2112	.4799	.09633	1095	2315	1811	17
18	.7398	.2161	.4922	.09824	1119	2397	1891	18
19	.7522	.2210	.5046	.10016	1143	2449	1940	19
20	.7645	.2260	.5171	.10200	1167	2501	1980	20
21	.7768	.2310	.5297	.10402	0.01191	0.002555	0.002039	21

При пользованіи двумя послѣдними, пригодными для сосуда съ весьма малой емкостью, слѣдуетъ принимать во вниманіе электропроводность воды послужившей для растворенія, электропроводность ея слѣдуетъ прибавить къ числамъ, напечатаннымъ въ таблицѣ.

Хорошая вода должна имѣть электропроводность к 10^6 1 до 2.

2. Сравненіемъ съ сосудомъ, емкость котораго извѣстна. Оба сосуда, наполненные одною и тою же жидкостью и стоящие въ одной и той же ваннѣ, включаютъ на мѣсто F' и F (верхній чертежъ пред. стр.); отношеніе сопротивленій дасть отношеніе емкостей.

Измѣреніе электропроводности съ помощью сосуда, емкость котораго можно измѣнять определеннымъ образомъ:

Въ U-образную трубку (чертежъ на слѣд. стр.) съ поперечнымъ сѣченіемъ въ $1/2 - 1$ см² вставлены передвижные, хорошо платинированные электроды. Она градуирована по емкости, т. е. если лѣвый элект-

гродь стоитъ на дѣленіи c_1 , а правый въ то же время на c_2 , то слѣдуетъ считать $C' = c_1 + c_2$. Для точнаго измѣренія трубку подвѣшиваютъ въ ваннѣ съ термометромъ.

Въ проволочномъ мостѣ нѣтъ необходимости' достаточно, напримѣръ, витстоновскаго развѣтвленія съ двумя равными парами сопротивленій (93 I) или дифференціального индуктора (см. ниже, 3). Для сопротивленія R , съ которымъ производится сравненіе, берутъ круглое число (50, 100, 200, 1000 омовъ), устанавливаютъ лѣвый электродъ на c_1 и ищутъ для праваго такое положеніе c_2 , при которомъ звукъ исчезаетъ. Полагая $c_1 + c_2 = C'$, безъ большихъ вычисленій получаемъ электропроводность изъ равенства $\kappa = C' / R$.

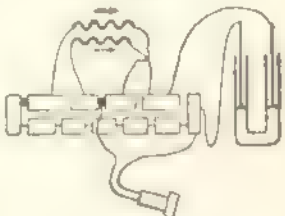
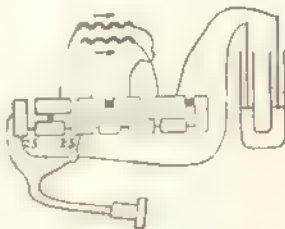
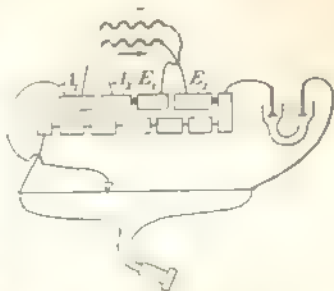
Универсальный индукторъ съ реостатомъ. Вторичная катушка индукторія состоитъ изъ двухъ равныхъ обмотокъ. Концы ихъ соединены съ металлическими накладками для штепселей, позволяющими, во-первыхъ, включить сравниваемые сопротивленія и, во-вторыхъ, служащими для слѣдующихъ цѣлей:

1. Находящійся здѣсь чертежъ даетъ понятную безъ дальнѣйшихъ разъясненій схему проволочнаго моста. Весь реостатъ употребляется, какъ измѣрительное сопротивленіе.

2. Мостъ съ сопротивленіями попарно равными. Для этого пользуются парой сопротивленій по 25 омовъ. Къ нимъ присоединенъ телефонъ (какъ гальванометръ къ вѣтвямъ a и b на чертежѣ стр. 227) и по одну сторону — реостатъ, по другую — электролитическій сосудъ.

3. Дифференціальный индукторъ. Обѣ части индукціонной катушки вводится не такъ, какъ раньше — послѣдовательно, какъ одно цѣлое, — а такъ, что токи ихъ проходятъ черезъ телефонъ въ противоположныхъ направленіяхъ и не возбуждаютъ его, если имѣютъ равную силу.

Изъ реостата берутъ подходящее сопротивленіе R , передвигаютъ электроды дока звукъ не исчезнетъ и отчитываютъ $c_1 + c_2$ (см. выше)



Эквивалентная электропроводность Λ раствора. Такъ называютъ электропроводность к дѣленную на эквивалентную концентрацію n раствора, n равна массѣ электролита, содержащейся въ единицѣ объема раствора, тѣсной на эквивалентный вѣсъ электролита. Согласно общепринятому опредѣленію концентрація разсчитывается въ граммы эквивалента на литръ, но изъ теоретическихъ соображеній въ данномъ случаѣ за единицу концентрации принимаютъ величину въ 1000 разъ большую, именно граммы эквивалента кубическій сантиметръ, такъ что „нормальный растворъ“ (см. 9а) имѣетъ эквивалентную концентрацію $n = 0.001$. При этомъ $\Lambda = \kappa n$.

Подвижность ионовъ. Эквивалентная электропроводность складывается аддитивно изъ „подвижностей“ обѣихъ ионовъ. Для очень разбавленныхъ водныхъ растворовъ пригодна табл. 22. Съ возрастаніемъ концентраціи подвижности уменьшаются.

Температурный коэффициентъ

Электропроводность электролита вообще сильно увеличивается съ возрастаніемъ температуры, и въ небольшихъ промежуткахъ увеличение электропроводности почти пропорціонально повышенію температуры. Относительное увеличение κ электропроводности на 1° называется температурнымъ коэффициентомъ электропроводности. Итакъ, если κ_1 и κ_2 отвѣчаютъ температурамъ t_1 и t_2 , то

$$\frac{\kappa_2}{\kappa_1} = c (t_2 - t_1) \quad \text{или} \quad c = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\kappa_2 - \kappa_1}{t_2 - t_1}$$

Относять измѣненія, по большей части, къ электропроводности κ при 18° , c называется тогда среднимъ температурнымъ коэффициентомъ между t_1 и t_2 по отношенію къ электропроводности при 18° .

О приготовленіи растворовъ см. 9а, относительно κ и Λ табл. 21

97. Сопротивленіе гальваническихъ элементовъ

Первый, старый способъ применимъ только къ очень постояннымъ элементамъ съ не слишкомъ малымъ сопротивленіемъ. Второй способъ гораздо точнѣе и удобнѣе.

Гальванометромъ. Элементъ или батарею замыкаютъ черезъ гальванометръ (81 — 85), вводя въ случаѣ надобности столько балластнаго сопротивленія, сколько потребуется для подходящаго отклоненія стрѣлки. Пусть сила тока будетъ J . Включивъ еще нѣкоторое извѣстное сопротивленіе R , ослабляютъ силу тока до значенія i , лучше всего приблизительно до половины J . Если W означаетъ

сопротивление цепи при первом наблюдении, то $WJ = (W + R) i$; отсюда

$$W = R \cdot (J - i)$$

Из W вычитают сопротивление гальванометра и постоянное балластное сопротивление, если последнее было применено.

Переменными токами и телефоном. Элемент включают так, как включено F на чертеж стр. 235. Постоянный ток, даваемый самим элементом, не влияет на измерение, он лишь не должен быть настолько сильным, чтобы вредить сопротивлению R или телефону. Конечно, лучше всего производить исследование над четным числом одинаковых элементов, соединенных так, чтобы их электродвижущие силы друг друга уничтожали.

98 Сопротивление гальванометра

Сопротивление r мультипликатора как и всякое другое можно определить по способам, указанным в 90-94. Существуют однако способы, при которых пользуются стрелкой, той же самой гальванометра, например:

Прямое замыкание

Замыкают через гальванометр постоянный элемент с известным или очень малым сопротивлением (аккумулятор), если нужно, включив еще определенное сопротивление. Пусть w_0 будет сумма этого балласта и сопротивления элемента. Сила тока пусть равна J . Уменьшим этот ток приблизительно до половины его величины i , введя из реостата еще сопротивление R . Тогда $\gamma = Ri / (J - i) - w_0$.

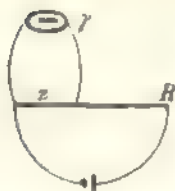
Ибо $(\gamma + w_0) J = (\gamma + w_0 + R) i$.

Балласт, по большей части, приходится брать сравнительно слишком большим, так что прием оказывается неточным.

Отвѣтвление тока

Пропускают ток через реостат, присоединяют к этому току гальванометр двумя различными способами и измеряют отклонения; таким образом получают два уравнения, из которых можно вывести γ . Ниже следующее представляет собою примѣръ этого способа.

Постоянный элемент (аккумулятор) замыкают через реостат и присоединяют гальванометр к сопротивлению τ этой цепи, не слишком отличающемуся от сопротивления гальванометра. Пусть R сопротивление цепи без отвѣтвления, т. е. R — сопротивлению эле-



мента + сопротивление реостата, за исключением сопротивления γ , входящего въ отвлѣтленіе. Пусть сила тока въ γ равна i' . Затѣмъ соединяютъ элементъ, гальванометръ и реостатъ обыкновеннымъ способомъ, послѣдовательно, и подбираютъ болѣе значительное сопротивление R (включающее элементъ) такъ, чтобы токъ i' въ гальванометръ былъ того же порядка, какъ и i . Искомое сопротивление γ гальванометра будетъ тогда

$$\gamma = \frac{i' R' - i R}{i(R + z) - i' z}.$$

Доказательство. Имѣемъ $i' = \frac{E}{R' + \gamma}$ и (стр. 201) $i = \frac{E}{R + (z + \gamma)}$. Откуда слѣдуетъ $E = i' R' + i' \gamma$ и $E = i R + i(z + \gamma)$. Приравнивая оба эти выраженія для E , получимъ тотчасъ вышесприведенное значеніе.

Если выбрать R' такъ, чтобы оба отклоненія были равны, т. е. $i = i'$, то просто

$$\gamma = z(R' - R)/R.$$

Въ этомъ видѣ способъ примѣнимъ также и къ инструменту, который, собственно говоря, не измѣряетъ, а позволяетъ лишь судить, больше ли сила тока или меньше.

99. Сравненіе электродвижущихъ силъ или напряженій

Слѣдуетъ имѣть въ виду, что электродвижущая сила элемента вообще падаетъ съ увеличеніемъ силы тока. Элементы съ разжижаемыми или бывшими въ употребленіи долгое время жидкостями и „постоянными“ элементами (напримѣръ Свм, Лекланше и также столь важныя въ качествѣ нормальныхъ элементы ртутно-цинковые и ртутно-кадмевые) при слабомъ токъ могутъ быть во много разъ слабѣе чѣмъ при компрессіи или при сильномъ слабомъ токъ. Всѣмъ постояннымъ окъзывается хорошо заряженный аккумуляторъ или элементъ Даниэля.

Если двѣ электродвижущія силы E и e возбудятъ въ дѣлахъ съ сопротивленіемъ W и w силы тока J и j , то

$$E : e = J W : j w.$$

Сравненіе при помощи реостата

Одинъ изъ элементовъ E замыкаютъ черезъ реостатъ и указатель тока и, подбирая сопротивление, добиваются того, чтобы стрѣлка установилась на подходящемъ илѣмъ дѣленіи шкалы. Затѣмъ замѣ-

няютъ E другимъ элементомъ e и при помощи реостата приводятъ стрѣлку въ прежнее положеніе. Пусть полное сопротивленіе въ первомъ случаѣ W , во второмъ w . Тогда напряжения относятся такъ:

$$E:e = W:w.$$

W и w заключаютъ въ себѣ, кромѣ сопротивленія реостата, еще сопротивленія указателя тока и элемента. Однако, если взять сопротивление реостата большимъ сравнительно съ остальными, что всегда возможно при употребленіи чувствительнаго указателя тока, то послѣдними можно пренебречь, или же ограничиться ихъ приблизительной оцѣнкой.

Сравненіе при помощи измѣрителя тока

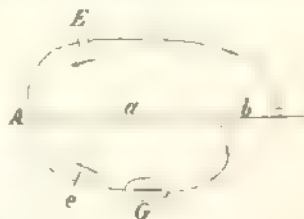
Замыкаютъ сначала одинъ, потомъ другой элементъ черезъ чувствительный измѣритель тока, вводя каждый разъ одно и то же сопротивленіе. Пусть сопротивленіемъ элемента можно пренебречь по сравненію съ другими сопротивлениями. Если наблюдаются силы тока J и i , то $E:e = J:i$.

Компенсационный приемъ для непостоянныхъ элементовъ

По Боска. Пусть требуется равнѣть элементъ e съ болѣе сильнымъ источникомъ электродвижущей силы E (батарея или нѣсколько элементовъ Даніэля или аккумуляторовъ). a и b переменныя сопротивленія реостата, или же a, b измѣрительная проволока съ двумя подвижными контактами; къ этимъ переменнымъ сопротивлениямъ присоединяютъ оба элемента навстрѣчу другъ другу (чертежъ) и въ цѣпь непостояннаго элемента включаютъ показателъ тока G . Индукція такихъ сопротивленій a и b или такъ короткіе промежутки, для которыхъ токъ въ G исчезаетъ. Затѣмъ индукт. другую пару сопротивленій или отрезковъ проволоки a' и b' , для которыхъ токъ въ G снова исчезаетъ; тогда

$$\frac{E}{e} = 1 + \frac{b-b'}{a-a'}.$$

Доказательство. Наовемъ черезъ W сопротивленіе вѣтви, состоящей изъ E и черезъ I сила тока въ ней, въ a и b будетъ токъ тотъ же



силы, поэтому (правило В, стр. 201) $E = W = a \cdot b \cdot I$ и $e = a \cdot I$. Отсюда $aE = W = a \cdot b \cdot I$. Точно также для второго опыта $aE = W = a' \cdot b' \cdot I'$. Вычитание обоих равенств дает $(a - a')E = a' \cdot b' - b$, откуда и получается приведенное выше равенство. Ясно, что контакт справа отъ b долженъ имѣть постоянное сопротивление, такъ какъ оно входитъ въ W .

По Дюбуа-Реймону. Сопротивление, обозначенное на предыдущемъ чертежѣ черезъ $a + b$, оставляя постояннымъ ($=1$) и перемѣщая только контактъ элемента e . Тогда его электродвижущая сила $e = aE (W = 1)$, т. е. просто на просто пропорциональна длинѣ a , при которой токъ въ G исчезаетъ, см. приведенное выше доказательство, строка 4. Поэтому можно написать $e = M \cdot a$, гдѣ $M = E (W + 1)$.

Итакъ, здѣсь необходимо знать сопротивление W элемента E , служащаго для сравненія, вмѣстѣ съ подводящими проволоками, причемъ это сопротивление должно быть выражено въ единицахъ длины измѣрительной проволоки. Независимо отъ этого, можно опредѣлить постоянный множитель M такимъ образомъ, оставивъ элементъ E на мѣстѣ, вмѣсто e вставляють нормальный элементъ съ извѣстнымъ напряженіемъ e_0 . Если при этомъ требуется длина a_0 , то, очевидно, $M = e_0 / a_0$.

100. Электродвижущая сила въ абсолютной мѣрѣ

Электродвижущая сила E выражается въ вольтахъ черезъ токъ въ 1 амперъ, возбуждаемый ею въ сопротивленіи 1 ома въ (80 § 4) слѣдующимъ образомъ:

$$E = e \cdot r.$$

1. Прямое измѣреніе. Замыкають элементъ измѣрителемъ тока, ввести въ случаѣ необходимости добавочное сопротивление. Пусть сумма внѣшнихъ сопротивленій w_1 , внутреннее сопротивление элемента e_0 , сила тока I , тогда $E = (w_1 + e_0) \cdot I$.

При употребленіи чувствительныхъ гальванометровъ можно пренебречь сопротивленіемъ e_0 , а часто также и сопротивленіемъ гальванометра.

Измѣрители напряженія. Такъ называются измѣрители тока, обладающие весьма большимъ сопротивленіемъ и иногда заключающие въ себѣ добавочное постоянное сопротивление, присоединяемое послѣдовательно (такъ что сопротивленіемъ источника тока можно по сравнениюу съ нимъ пренебречь), дѣленія на такихъ

инструментахъ сразу даютъ произведение силы тока на сопротивление, т. е. напряжение элемента. Если сопротивление измѣрителя напряжения — γ , то при добавлении сопротивлений 9γ , 99γ и т. д. цѣна дѣления возрастаетъ въ 10, 100 и т. д. разъ. Въ настоящее время существуютъ инструменты, въ особенности указатели тока Вестонскаго типа (85), сопротивление которыхъ выражается круглымъ числомъ, снабженные сопротивлениями, которыя можно включать параллельно и послѣдовательно (86); благодаря этому инструменты эти можно употреблять и какъ измѣрители напряжения и какъ измѣрители тока, мѣняя при этомъ въ широкихъ предѣлахъ значеніе шкалы.

II. Способъ Ома. Двойнымъ измѣреніемъ исключаютъ сопротивление элементъ + гальванометръ. Замыкаютъ элементъ черезъ реостатъ и гальванометръ (тангенсъ-буссоль или вѣрный указатель тока) и наблюдаютъ токи i_1 и i_2 при сопротивленияхъ реостата R_1 и R_2 ,

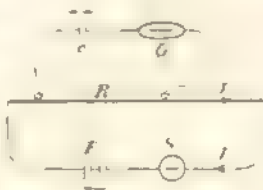
тогда

$$E = i_1 i_2 (R_1 + R_2) / (i_2 - i_1).$$

Полезно, чтобы одинъ токъ былъ приблизительно вдвое слабѣе другого. Для тангенсъ-буссоли всего лучше отклоненія въ 35° и 55° .

Примѣнение метода ограничивается „постоянными“ элементами; при сильныхъ токахъ электродвижущая сила всѣхъ элементовъ уменьшается (99).

III. Компенсационный методъ Поггендорфа. Напряжение непостояннаго элемента (электродвижущая сила котораго уменьшается при прохожденіи тока), и притомъ полное напряжение, опредѣляютъ, уничтожая въ немъ токъ посредствомъ компенсации. Замыкаютъ болѣе сильную, постоянную батарею E' черезъ измѣритель тока Δ и реостатъ или измѣрительную проволоку, сопротивление которой извѣстно; изслѣдуемый же элементъ E съ чувствительнымъ гальваноскопомъ посредствомъ пробъ присоединяютъ къ такой части R сопротивления реостата (располагая элементъ, конечно, противоположно первому току), что токъ въ отвѣтвленіи исчезаетъ. Если сила главнаго тока равна J , то по 80 I B



Въ то время, какъ производятся пробы, лучше всего, пока не будетъ приблизительно найдено подходящее R , ввести въ отвѣт-

вление настолько значительное балластное сопротивление, чтобы элементъ никоимъ образомъ не могъ дать значительнаго тока.

101. Разность потенциаловъ въ замкнутой цѣпи.

Напряжение на клеммахъ

Чтобы найти разность потенциаловъ (напряжение) между двумя точками тока A и B , устраиваютъ между этими точками отъѣвление съ измѣрителемъ напряжения или чувствительнымъ гальванометромъ, къ которому присоединяютъ большое сопротивление. Если r полное сопротивление и i сила тока въ отъѣвлении, то для весьма значительнаго r разность напряжений P просто $= ir$. Измѣритель напряжения прямо даетъ P .

Если остальными сопротивлениями нельзя пренебречь сравнительно съ r , то приходится вносить поправку, ибо сила тока въ ir мѣняется, когда замкнуто отъѣвление.

Напряжение на клеммахъ. Подъ этимъ терминомъ подразумеваютъ разность потенциаловъ на полюсахъ (клеммахъ) источника тока (батарей, динамомашинъ) въ то время, какъ онъ даетъ токъ. Измѣрение производится такъ, какъ указано выше, только за точки развѣтвления берутъ полюсы источника тока. Такое опредѣленіе имѣетъ большое значеніе для динамомашинъ, такъ какъ ихъ электроиндуцирующая сила зависитъ отъ силы тока и потому должна быть измѣрена въ то время, какъ машина даетъ токъ.

Измѣреніе значительныхъ силъ тока измѣрителемъ напряженія

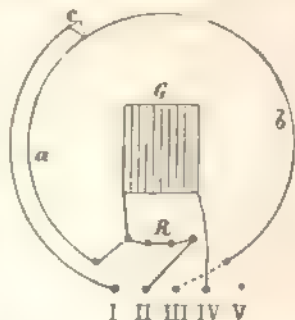
Измѣреніе силъ токовъ часто производится изъ измѣренія разности потенциаловъ на клеммахъ гальванометра съ известнымъ сопротивленіемъ, служащимъ образцомъ, см. также измѣреніе тока посредствомъ коммутатора 88.

Къ некоторой части тока, примѣрно къ концамъ включеннаго въ цѣпь измѣрительнаго сопротивления для сильныхъ токовъ (80 IV), величина котораго R известна, присоединяютъ измѣритель тока. По напряженію P находятъ силу тока — она равна P/R . Главный токъ получается отсюда умноженіемъ на $1 + R/r$, если r означаетъ сопротивление отъѣвления, содержащаго измѣритель напряжения, часто величину R/r можно бывать пренебречь.

102. Универсальный гальванометръ Сименса

Инструментъ этотъ служить для опредѣленія силъ тока, сопротивленій и напряженій.

G мультипликаторъ, R сопротивления въ 1, 10, 100 или 1000 омовъ, выключаемые посредствомъ выниманія штепселей; a и b проволока моста, натянутая въ видѣ круга I, II, III, IV, V винтовые клеммы; изъ нихъ III и IV посредствомъ штепселя могутъ быть прямо соединены между собою. Клемма V, посредствомъ клавиши соединяющаяся съ II, употребляется вмѣсто II для мгновеннаго замыканія. Если V отсутствуетъ, то къ II можно присоединить для той же цѣли контактъ, которымъ было бы удобно пользоваться рукою (c' обозначаетъ передвижной контактъ (въ дѣйствительности соединеніе между c' и I находится подъ инструментомъ))



1. Измѣреніе тока. Соединяють клеммы II (или V) и IV съ проводами тока. Посредствомъ R можно включать въ цѣпь сопротивления. Градусныя дѣленія вдоль проволоки моста позволяютъ примѣнять инструментъ, какъ синусъ-буссоль. Ср. 82

Въ новѣйшемъ видоизмѣненіи инструмента вращающаяся синусъ-буссоль замѣнена Вестоновскимъ измѣрителемъ тока.

2. Опредѣленіе сопротивленія. Между I и II (V) включают элементъ, между II и III — сопротивление и вставляютъ штепсель между III и IV. Тогда получается обыкновенный вѣстоновъ мостъ, стр. 228. Сопротивленіе R , служащее для сравненія, выбираютъ по возможности близкимъ по величинѣ къ измѣряемому сопротивленію. Если c' поставлено такъ, что замыканіе не даетъ тока, то $n = R \cdot b / a$. Въ прежнихъ инструментахъ $a + b = 300$; нулевое дѣленіе шкалы лежитъ посрединѣ. Разсчетъ облегчается таблицей. У новѣйшихъ инструментовъ (у которыхъ III присоединено не къ b , а къ a , такъ что $n = R \cdot a / b$) дѣленія прямо даютъ отношеніе a / b .

3. Сравненіе электродвижущихъ силъ (99, въ концѣ). Штепсель III — IV вынимаютъ, вставляютъ штепселя R и включают одну изъ сравниваемыхъ электродвижущихъ силъ e между I и IV, а другую, болѣе сильную и постоянную, E между II (V) и III; при этомъ одноименные полюсы e и E соединяють съ I и III. Затѣмъ отыскиваютъ длину a , при которой стрѣлка остается въ покоѣ. Если элементъ e непостояненъ, то его включают лишь на мгновенья, дѣлая

это либо при помощи самого контактного колесика, либо производя замыкание у клеммы I. Если сопротивление w_0 элемента E известно, то $e: E = a: (a + b + w_0)$.

Чтобы сравнить элементъ e съ другимъ e' , вставляютъ e' на мѣсто e . Если теперь получается установка a' , то, независимо отъ w_0 , $e: e' = a: a'$.

103. Крутильный гальванометръ (Сименсъ и Гальске)

Въ крутильномъ гальванометрѣ сила тока измѣряется моментомъ крученія подвѣшенной нити, закручиваемъ которой приводятъ въ нулевое положеніе отклоненную токомъ стрѣлку, висѣщую въ мультипликаторѣ.

Крутильный гальванометръ служитъ для измѣренія какъ силы тока, такъ и напряженія.

Если приборъ установленъ въ меридіанѣ, то показанія его не зависятъ отъ земного магнетизма. Измѣненія же въ магнитизмѣ самой стрѣлки, могущія возникнуть отъ времени или отъ слишкомъ сильнаго тока, измѣняютъ постоянную прибора, и потому постоянно слѣдуетъ почаще опредѣлять zero — Далѣе, слѣдуетъ обращать вниманіе на температуру, если только мультипликаторъ и сопротивления для параллельнаго замыканія не изготовлены изъ материала, нечувствительнаго къ температурѣ.

Измѣреніе тока. Закручиваніемъ головки приводятъ стрѣлку въ ея нулевое положеніе, параллельное оборотамъ мультипликатора. Если необходимый для этого уголъ поворота обозначить черезъ α , то сила тока $i = C' \cdot \alpha$. Постоянная C' опредѣляется серебрянымъ вольтаметромъ (87 I), или нормальнымъ элементомъ (88), или же сравненіемъ съ нормальнымъ гальванометромъ (89). Два сорта инструментовъ, выпускаемые фирмой Сименсъ и Гальске, должны имѣть $C' = 0.001$ и 0.0001 ампера на градусъ.

Сильные токи измѣряются съ отвлѣщеніемъ (86). Сопротивленіе мультипликатора инструментовъ подогнано къ 1 и къ 100 омамъ, параллельному замыканію въ омы соответствующихъ переключные множители 0.001 ($n = 1$) и 0.0001 ($n = 100$) — ампера. Благодаря тому, что при инструментахъ имѣются параллельныя отвлѣченія въ $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$ и т. д. и $\frac{1}{9}$, $\frac{100}{99}$ ома и т. д., множители получаются въ круглыхъ числахъ, именно 0.01, 0.1 и т. д., 0.001, 0.01 и т. д.

Измѣреніе напряженія. Присоединяя къ инструментамъ послѣдовательно сопротивление въ R омовъ, получаемъ значеніе одного дѣленія шкалы въ одномъ инструментѣ $0.001 (R + 1)$ вольта, въ

другомъ 0 0001 ($R = 100$) вольтъ. Слѣдовательно, присоединение 9, 99, 999 омовъ и 900, 9900, 99900 омовъ придаетъ каждому дѣленію шкалы значенія 0.01, 0.1, 1 и 0.1, 1, 10 вольтъ.

104. Измѣренія у динамомашинъ

Мы ограничимся здѣсь машинами или генераторами постоянного тока.



По расположению намагничивающихъ обмотокъ динамомашинъ раздѣляются на

1. Машинъ параллельнаго замыканія (иногда распространеныя). Якорь замкнутъ параллельно тонкой, сравнительно обмоткой электромагнита и вѣшной цѣпью (схема на чертежѣ 1). Напряжение на клеммахъ (101) равно нулю при маломъ вѣшномъ сопротивленіи и при увеличеніи послѣдняго возрастаетъ до нѣкоторой предѣльной величины.

2. Машинъ послѣдовательнаго замыканія (порядо рѣже применяемая для добыванія тока). Толстая обмотка электромагнита образуетъ съ якоремъ и вѣшной проводкою простую цѣпь (чертежъ 2). При возрастаніи вѣшняго сопротивленія электродвижущая сила убываетъ до нуля. Напряжение на клеммахъ при опредѣленномъ вѣшномъ сопротивленіи достигаетъ максимума.

3. Машинъ постояннаго напряжения или смѣшаннаго (компаунда) машинъ (чертежъ 3). Электромагнитъ имѣетъ двѣ обмотки. Одна, изъ тонкихъ проволокъ (начерченная пунктиромъ), присоединена какъ въ машинѣ параллельнаго замыканія, къ щеткамъ или къ клеммамъ машины. Другая, изъ толстыхъ проволокъ, соединена съ якоремъ и вѣшной цѣпью послѣдовательно. При надлежащихъ соотношеніяхъ напряженія на клеммахъ для нормальнаго числа оборотовъ мало зависитъ отъ вѣшняго сопротивленія.

Сильныя искры свидѣтельствуютъ о неисправной установкѣ цѣтокъ.

Вслѣдствіе присущихъ машиннымъ токамъ колебній слѣдуетъ для измѣреній пользоваться инструментами съ достаточнымъ затуханіемъ.

Сила тока. Объ измѣреніи сильныхъ токовъ тангенсъ-буссолью смотри 81, чувствительнымъ гальванометромъ съ отвѣтвленіемъ — 86 и 103, техническими указателями тока 85 измѣреніемъ напряжения на концахъ извѣстнаго сопротивленія — 88 и 101, въ концѣ

Электродвижущая сила. Непосредственно измѣряется на основаніи 101 – 103 напряжение P между клеммами или между щетками машины; для машины параллельнаго замыканія это одно и то же. Напряжение на щеткахъ даетъ, если пренебречь небольшой потерей напряжения въ якорѣ, полную электродвижущую силу.

Мощность (работа тока въ секунду) Единицей служить ваттъ = вольтъ \times амперъ; ср. 1, Nr. 28.

Внѣшнюю, полезную мощность получимъ, измѣривъ силу внѣшняго тока i въ амперахъ и напряжение на клеммахъ P въ вольтахъ: $L = P \cdot i$ ваттъ.

Степенью полезнаго дѣйствія машины называютъ отношеніе полученной отъ нея внѣшней электрической работы къ затраченной механической работѣ, та и другая должны быть выражены въ одинаковой мѣрѣ. 1 лошадиная сила 0.736 киловатта (круглымъ числомъ $\frac{3}{4}$); ср. 1, Nr. 10.

Измѣренія надъ лампами накаливанія

Исслѣдованіе электрическихъ лампъ заключается въ одновременномъ измѣреніи силы свѣта и расхода энергии въ лампѣ, т. е. при постоянномъ токтъ произведенія напряжения на силу тока. Поэтому говорятъ, напримѣръ лампа даетъ столько-то свѣчей Лейнера на ваттъ. Относительно фотометріи см. 72. Сила свѣта обыкновенно измѣряется въ направленіи перпендикулярномъ къ плоскости нити и по двумъ направленіямъ, составляющимъ углы въ 120° съ первымъ.

Чѣмъ выше температура каленія нити тѣмъ менѣе затрата энергии на свѣтовую единицу но тѣмъ менѣе также и продолжительность жизни лампы. Поэтому слѣдуетъ какъ можно точнѣе придерживаться нормальнаго напряжения. Измѣненіе напряжения въ 1% производить измѣненіе въ силѣ свѣта въ 6 – 7%.

105. Измѣреніе горизонтальной слагающей земнаго магнетизма тангенсъ-буссолью

Если токъ, сила котораго i въ CGS-единицахъ извѣстна инымъ путемъ, даетъ въ тангенсъ-буссоли отклоненіе на уголъ α , то на основаніи формулы стр. 205 горизонтальная составляющая земнаго магнетизма выражается такъ:

$$H = \frac{2\pi n i}{R \operatorname{tg} \alpha}$$

можно опредѣлить съ помощью включеннаго въ ту же цѣпь вольтметра (87), причемъ слѣдуетъ воспользоваться электрохимическимъ эквивалентомъ, отнесеннымъ къ системѣ CGS, т. е. для серебра взять 11.18 мг/сек.

Любой вѣрный, независимый отъ земного магнетизма измѣритель тока, напримѣръ, Вестоновскій указатель тока (85), можетъ также дать i , показания въ амперахъ дѣлятся на 10.

106. Баллистическій гальванометръ. Опредѣленіе количества электричества

Баллистическимъ итывается гальванометръ въ томъ случаѣ, если пропускимые черезъ него кратковременные токи измѣряются по точкамъ поворота пришедшей въ колебаніе стрѣлки, колебанія для этой цѣли должны быть достаточно медленными.

Если черезъ гальванометръ пропущенъ токъ i въ течение времени t , весьма малю сравнительно съ периодомъ колебанія стрѣлки, то начальная скорость стрѣлки пропорциональна прашедшему количеству электричества $Q = it$, а первое отклоненіе по шкалѣ θ пропорционально этой скорости, слѣдовательно, тому же количеству электричества Q . На этомъ основаніи легко сравнивать между собою количества электричества, протекающія при разрядахъ. Но и абсолютную ихъ величину можно измѣрять согласно слѣдующимъ правиламъ.

Пусть \mathfrak{G} переводный множитель, дающій силу тока по дѣлительному отклоненію т. е. соответствующій смѣщенію, данному въ 89. Если τ периодъ колебанія (28), то для количества электричества, перенесеннаго кратковременнымъ токомъ, существуетъ выраженіе

$$Q = \mathfrak{G} \frac{\tau}{\pi} \cdot \theta = \mathfrak{F} \cdot \theta.$$

Итакъ, „баллистическій“ переводный множитель \mathfrak{F} получается изъ статическаго \mathfrak{G} умноженіемъ на τ/π .

При этомъ предполагается, что затуханія вовсе не существуютъ.

Гальванометръ съ затуханіемъ. Сила затуханія характеризуется декрементомъ затуханія k т. е. отношеніемъ размаха колебанія къ размаху, непосредственно за нимъ слѣдующему. Объ опредѣленіи k см. 27. Величина $\lambda = \lg k$ называется бригговымъ или обыкновеннымъ логарифмическимъ декрементомъ колебаній, если употребляются обыкновенные логарифмы. При натуральныхъ логарифмахъ получается „натуральный логарифмическій декрементъ“ Λ . Имѣемъ $\Lambda = 2.303 \lambda$. При слабыхъ затуханіяхъ приблизительно $\Lambda = k - 1$.

Періодъ колебанія при затуханіи *ceteris paribus* больше, чѣмъ безъ затуханія, но, если затуханіе не сильно, разица эта незначительна. Напримѣръ при декрементѣ затуханія $\frac{1}{7}$ она составляетъ только $\frac{1}{1000}$

Вообще вследствие затухания периодъ колебания увеличивается въ отношеніи $\sqrt{\pi^2 + \Lambda^2} : \pi$ или въ $\sqrt{1 + \frac{\Lambda^2}{\pi^2}}$ разъ, а такъ какъ π^2 приблизительно 10, то вмѣсто послѣдняго выраженія можно взять $\sqrt{1 + \frac{1}{10} \Lambda^2}$ или, при слабомъ затуханіи на основаніи формулы 3 стр. 27 $(1 + \frac{1}{20} \Lambda^2)$.

Итакъ если періодъ колебания при затуханіи получится равнымъ T , то безъ затуханія періодъ

$$\tau = T \frac{\pi}{\sqrt{\pi^2 + \Lambda^2}} \quad \text{или приблизительно, } \tau = \frac{T}{1 + \frac{1}{20} \Lambda^2}.$$

T при затуханіи рѣдко опредѣляется настолько точно, чтобы нельзя было считать достаточной эту приближенную формулу.

Первое отклоненіе x_0 при отсутствіи затуханія было бы большее, чѣмъ и бывающее при затуханіи отклоненіе x . Точное выраженіе для x дается равенствомъ $x = x_0 e^{-\frac{1}{2} \Lambda t} \sin \frac{\pi}{\Lambda} t$ ако $\frac{\pi}{\Lambda} t$ при слабомъ затуханіи это почти $= \sqrt{k}$ и до $k = 2$ слѣдуетъ положить

$$x_0 = x(1 + 1.16 \log \text{brigg } k) \quad \text{или} \quad x_0 = x(1 + 1.16 \Lambda).$$

Эти соотношенія выводятся изъ уравненія затухающаго колебанія.

Поправка на большее размахи. Попробуемъ эти при отчетѣ на прямолинейной шкалѣ заключаются въ слѣдующемъ. Если направляющая сила складается кручениемъ нити то самымъ угломъ отклоненія пропорціоналенъ начальной скорости при мигу выстрѣла; начальная скорость пропорциональна x_0 болѣе значителенъ уголъ отклоненія по шкалѣ отклоненій x , согласно 25, необходимо въ первомъ случаѣ уменьшать на x^2 1-е по второму на мѣтѣ отклоненія съ отношеніемъ $11 : 12$ т. е. 1 разстояние шкалы

Опредѣленіе баллистическаго переводнаго множителя,

т. е. множителя \mathfrak{F} , позволяющаго найти внезапно протекавшее черезъ гальванометръ количество электричества Q изъ перваго отклоненія x по формулѣ $Q = \mathfrak{F} \cdot x$.

Согласно сказанному, для этого требуется знать обыкновенный статическій переводный множитель \mathfrak{O} , періодъ колебанія τ и декрементъ затуханія Λ . Разстояние шкалы въ 2—3 метра оказывается наиболѣе подходящимъ для обыкновенно принимаемыхъ инструментовъ.

Нахожденіе періода колебанія: ср. 28. Такъ какъ колебанія наводятъ въ замкнутой цѣпи гальванометра токи, производяще затуханіе, то цѣпь слѣдуетъ размыкать. Если затуханіе все-таки настолько сильно, что нельзя получить болѣе или менѣе значитель-

наго ряда колебаний, то приходится, для наблюдения цѣлаго ряда колебаний, время отъ времени поддерживать движение, для чего всего удобнѣе пользоваться кратковременными замыканиями тока. Если затухание весьма сильно, то и начальный толчекъ дѣлаютъ также весьма сильнымъ; при этомъ оказывается возможнымъ наблюдать первое и нѣсколько послѣдующихъ прохождений черезъ положение равновѣсія, которое цѣлесообразно отмѣтить толстой черной нитью или чѣмъ-нибудь въ этомъ родѣ.

Изъ периода T , наблюдаемаго при затуханіи, вычисляется периодъ τ , соответствующій отсутствію затуханія, по формулѣ $\tau = T\pi \sqrt{\pi^2 + \Lambda^2}$. Объ упрощеніи вычисления см. пред. страницу.

Опредѣленіе декремента затуханія. Возбуждаютъ колебанія кратковременнымъ токомъ („толчкомъ“), наблюдаютъ точки поворота и производятъ вычисления по 27. Если затуханіе столь сильно, что можно наблюдать лишь немного точекъ поворота, то повторяютъ наблюденіе и берутъ среднее.

При этомъ гальванометръ долженъ быть замкнутъ тѣмъ же самымъ сопротивленіемъ, что при измѣреніи количества электричества.

Статическій переводный множитель ζ , г. е. множитель, при помощи котораго длительный токъ i вычисляется изъ соответствующаго ему длительного отклоненія α , по формулѣ $i = \zeta \alpha$. Объ опредѣленіи его см. 89. Для даннаго случая всего цѣлесообразнѣе вычислить его по отклоненію α , которое производитъ въ гальванометрѣ нормальный элементъ электродвижущей силы E замкнутый большимъ сопротивленіемъ W (реостатъ + гальванометръ + элементъ), по формулѣ $\zeta = E / (W \alpha)$.

Напримѣръ: если 1 аккумуляторъ ($E = 20$ вольтъ), замкнутый сопротивленіемъ въ 10000 омовъ, дѣтъ отклоненіе въ 100 дѣлѣній шкалы, то для перевода изъ амперъ множитель $\zeta = 20 / (10000 \cdot 100) = 20 \cdot 10^{-6}$.

Баллистическій переводный множитель \mathfrak{F} . Изъ наблюдаемыхъ величинъ ζ , τ и k получается $\mathfrak{F} = \zeta \frac{\tau}{\pi} k^{1/\pi + \arctg \pi \Lambda}$ или для умѣренного затуханія $\mathfrak{F} = \zeta \frac{\tau}{\pi} (1 + 1/16 \cdot \log \text{brigg} k)$, ср. стр. 250.

Если въ предыдущемъ примѣрѣ периодъ колебанія $\tau = 10$ сек., то, пренебрегая поправкой на затуханіе, $\mathfrak{F} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 6.37 \cdot 10^{-6}$.

Это \mathfrak{F} годно при данномъ разстояніи шкалы A . Для другого разстоянія A' имѣемъ $\mathfrak{F}' = \mathfrak{F} \cdot A/A'$.

§. 2.4 служить переводным множителем для отклонений, выраженных в абсолютной угловой мере (1, Nr 3), и называется абсолютным баллистическим переводным множителем.

Определение количества электричества

Сущность способа уже изложена в предыдущем. Разряжают измеряемое количество электричества через гальванометры, наблюдают первое отклонение s и вычисляют по формулѣ

$$Q = \mathfrak{F} \cdot s.$$

Если \mathfrak{C} , а следовательно и \mathfrak{F} , относятся къ неберовской CGS-силѣ тока, то и Q получается въ электромагнитныхъ CGS-единицахъ; если \mathfrak{C} относится къ амперамъ, то Q получается въ амперъ-секундахъ или кулонахъ. Электромагнитная CGS-единица заключаетъ въ себѣ $300 \cdot 10^9$, а амперъ-секунда, следовательно, $30 \cdot 10^9$ электростатическихъ CGS-единицъ. Ср. 1, Nr. 14 и 23.

О мультипликации отклонения см. 108

107. Емкость конденсаторовъ; ср. 1, 17 и 25

Какъ емкость сосуда содержащаго газъ можетъ быть определена количествомъ газа, входящаго въ этотъ сосудъ при давлении единица (или, по закону Бойля Мариотта, отношеніемъ количества газа къ давленію), такъ и электростатической емкостью проводника называется то количество электричества, которое проводникъ содержитъ при электрическомъ напряженіи единица или отношеніе заряда къ соответствующему ему напряженію). Когда рѣчь идетъ о емкости конденсатора то предполагать что одна изъ обкладокъ отнечена къ землѣ (посредствомъ соединенія съ землею приведена къ напряженію нуль) а зарядъ и напряженіе приписываютъ другой обкладкѣ (коллектору).

Емкость конденсатора, состоящаго изъ двухъ параллельныхъ обкладокъ по $f \text{ см}^2$ въ очень маломъ сравнительно разстояніи $a \text{ см}$, въ электростатическихъ CGS единицахъ равна $\frac{P}{4\pi a}$, гдѣ P диэлектрическая постоянная изолирующаго слоя (для воздуха $P = 1$, для стекла отъ 4 до 7). Для на 900000, получаемъ емкость въ микрофарадахъ. Отсюда видно что микрофарадъ представляетъ собою весьма большую емкость.

При нехъ конденсаторахъ, за исключениемъ воздушнаго, возникаетъ нѣкоторая неопредѣленность отъ того, что часть заряда временно исчезаетъ, принимая форму „остаточнаго заряда“. Мы будемъ предполагать, что производятся лишь кратковременные разряды, при которыхъ „остаточный зарядъ“ не оказываетъ дѣйствія.

Измѣреніе количества электричества и напряженія въ электростатическихъ или въ электромагнитныхъ единицахъ даетъ емкость въ соответ-

ствующих единицах, мильер-секунда и вольт — единицы которыми мы будем пользоваться ниже дають емкость въ фарадахъ См 1 № 17 и 25 Емкость конденсаторовъ дается по большей части въ микрофарадахъ, 1 микрофарадъ = 10^{-6} фарада.

Пусть имѣется замыкатель съ тремя контактами, напримѣръ, чашечками со ртутью, дающий возможность соединять одну изъ обкладокъ конденсатора K либо съ полюсомъ батареи, либо съ одной изъ клеммъ гальванометра, противоположные концы всѣхъ трехъ инструментовъ все время отведены къ землѣ (газовая или водопроводная труба).

Соединяя конденсаторъ съ батареей, сообщая ему зарядъ затѣмъ соединяють его съ гальванометромъ, тотчасъ же вновь прерываютъ это соединение и наблюдаютъ первое отклоненіе Ψ . Если электродвижущая сила батареи E и баллистический переводный множитель гальванометра = \mathfrak{F} , то

$$c = \frac{\Psi}{E} \cdot \mathfrak{F}.$$

Ибо зарядъ q , съ одной стороны E съ другой Ψ .

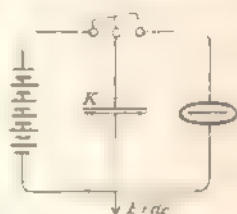
\mathfrak{F} опредѣляютъ по 106 для гальванометра, колеблющагося въ разомкнутомъ состояніи, E вычисляютъ изъ числа n элементовъ и электродвижущей силы ϵ каждаго по формулѣ $E = n \epsilon$; напримѣръ, для аккумуляторовъ $E = n \cdot 2.0$, для элементовъ Даниэля $E = n \cdot 1.1$ вольтъ.

Измѣривъ легко повторитъ съ применениемъ также мультипликаторно этого (108), если только замыкатель позволяетъ съ удобствомъ мѣнять полюсы батареи и гальванометра.

Баллистическое сравненіе двухъ конденсаторовъ

Поступаютъ такъ, какъ описано, сперва съ однимъ, потомъ съ другимъ конденсаторомъ и находятъ $c : c' = \Psi : \Psi'$. Если конденсаторы слишкомъ сильно отличаются другъ отъ друга, то заряжаютъ одинъ съ помощію n , другой съ помощію n' элементовъ такъ, чтобы отклоненія приняли по возможности одинаковую величину: теперь $c : c' = \mathfrak{F} n' : \mathfrak{F} n$.

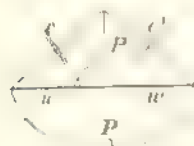
Чтобы сравнить двѣ лейденскія банки, соединяють ихъ внутреннія обкладки между собою и въ такомъ видѣ заряжаютъ электрической машиной до одинаковаго напряженія. Затѣмъ ихъ пооче-



редно, по возможности быстро одну за другой, разряжаютъ черезъ гальванометръ, вставивъ въ цѣль дурной проводникъ (влажную нитку). Вліяніе потерь электричества до извѣстной степени исключается перемѣной порядка разряда банокъ.

Сравненіе конденсаторовъ при помощи телефона на витстоновомъ мостѣ

Гальванометрическое измѣреніе примѣнимо лишь къ болѣе значительнымъ емкостямъ. Маленькіе конденсаторы можно сравнивать при помощи телефона на витстоновомъ мостѣ совершенно такъ же, какъ сопротивленія проводниковъ.



Пусть $и и'$ обозначаетъ измѣрительную проволоку, $с$ и $с'$ конденсаторы, P и P' индукторъ и телефонъ. Контакты передвигаютъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ достигнуто минимумъ звука; тогда отношеніе емкостей обратно пропорционально прилежащимъ длинамъ проволоки:

$$с : с' = и' : и.$$

Опредѣленіе діэлектрической постоянной. Діэлектрическая постоянная такого непроводника который можно помѣстить въ качествѣ промежуточной среды въ конденсаторъ, можетъ быть опредѣлена на основаніи теоремы, что емкость одинаковыхъ по формѣ конденсаторовъ, пропорциональна діэлектрической постоянной промежуточной среды.

108. Мультипликаціонный методъ въ примѣненіи къ баллистическимъ отклоненіямъ

Для измѣренія кратковременныхъ воздѣйствій на баллистическій гальванометръ, въ особенности, напримѣръ, для измѣренія наведенныхъ токовъ, часто оказывается цѣлесообразнымъ повторить импульсы въ правильной послѣдовательности. Вслѣдствіе этого, при существованіи затуханія, устанавливается наконецъ нѣкоторое постоянное состояніе движенія (подобно тому, какъ послѣ нѣсколькихъ колебаній становится постояннымъ размахъ часового маятника, получающаго при каждомъ качаніи толчокъ отъ дѣйствія гири, но встрѣчающаго задержку вслѣдствіе тренія и сопротивленія воздуха). Наблюденіе этого конечнаго состоянія можно повторять любое число разъ и получать точное среднее. Еще одно преимущество состоитъ въ томъ, что при началѣ наблюденій стрѣлка не должна непременно находиться въ покоѣ.

Пріемъ аналогиченъ вышеуказанному примѣру маятника. Сообщаютъ тѣлу толчокъ: оно отходитъ въ сторону и возвращается назадъ. Въ моментъ, когда оно проходитъ черезъ положеніе равновѣсія, двигаясь въ обратную сторону, сообщаютъ ему второй тол-

чокъ въ направленіи, противоположномъ первому, вслѣдствіе чего движеніе усиливается. При слѣдующемъ прохожденіи черезъ положеніе равновѣсія снова толчокъ въ ту же сторону, какъ и въ первый разъ, и т. д. Размахи мала по малу становятся больше, но подъ конецъ достигаютъ нѣкоторой постоянной предѣльной величины, послѣ чего на каждой сторонѣ наблюдають нѣсколько точекъ поворота и берутъ изъ нихъ среднее. Разность двухъ полученныхъ величинъ даетъ измѣренный по шкалѣ размахъ колебанія; дѣлимъ его пополамъ и въ случаѣ надобности вводимъ поправку, какъ указано на стр. 270. Обозначимъ найденное значеніе черезъ p . Зная его, получаемъ первое отклоненіе χ , происходящее отъ однократнаго толчка, при декрементѣ затуханія k по формулѣ:

$$\chi = \frac{k}{p} \frac{k-1}{k}.$$

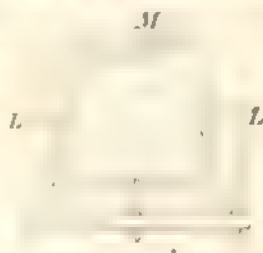
Количество электричества Q , соответствующее однократному толчку тока, вычисляемъ согласно §106 $Q = \Psi \cdot \chi$.

Доказательство. Пусть скорость при прохожденіи черезъ положеніе равновѣсія l при нѣсколькихъ отклоненіяхъ χ и χ' при возвратѣ, тогда $l = k \chi$ или $\chi = l/k$. Это объясняется темъ, что точка снова возрастаетъ до единицы l такъ, что скорость сообщается каждой толчкомъ, выражается черезъ $\chi = l/k$ или $l = k \chi$. Отклоненія χ и χ' соответствующія χ_0 и l' , связаны между собою какъ сами эти скорости χ_0 и l' , откуда $\chi : p = (k-1) : k$, что и требовалось доказать.

109. Опредѣленіе магнитнаго наклоненія земнымъ индукторомъ Вебера

Опредѣленіе основывается на сравненіи токовъ, индуцируемыхъ въ катушкѣ горизонтальною и вертикальною составляющими H_h и H_v земнаго магнитизма, мультипликаторъ при этомъ быстро поворачиваютъ на 180° для положенія термостатулярвато катушки, следовательно H . Вслѣдствіе этого индуцируется „мгновенная“ электродвижущая сила $2Hf$, т. е. сумма паденій на обмоткахъ. Такъ какъ f остается безъ измѣненія, то количество электричества, протекающее черезъ гальванометръ, а также и производимое имъ отклоненіе χ пропорционально въ томъ и другомъ случаѣ соответствующей составляющей. Но отношеніе этихъ составляющихъ $H_h : H_v$ есть тангенсъ угла наклоненія J , такъ что

$$\operatorname{tg} J = \chi_v : \chi_h.$$



Вертикальная составляющая Ось M располагают горизонтально и устанавливают ее с помощью магнитной стрелки в магнитном меридиане. Ось IL приводят в горизонтальное положение с помощью ватерпаса.

Затем, подвинчивая заднюю винтовую ножку, устанавливают ось вращения M катушки в точности горизонтально т. е. так, чтобы при переключении уровня на обоих одинаковой толщины цапфах оси M пузырек занимал один и тот же деления. Теперь производить ряд наблюдений, причем каждый раз быстро поворачивают катушку от одной задержки ко второй на 180° .

Горизонтальная составляющая (гальв.) мультипликатор вертикально (чертеж на предыдущей странице), присоединить его к одной из задержек и насаживать уровень на ось M так, чтобы он был направлен с севера на юг. Заднюю винтовую ножку поворачивают настолько, чтобы воздушный пузырек в обоих предельных положениях катушки стоял на одних и тех же делениях. Затем, как и прежде производят ряд наблюдений над индукцией.

Метод наблюдений над индукцией. Обсервации наблюдений над индукцией производится одинаковым образом, по большей части с применением мультипликатора (108). Мультипликацию продолжают до тех пор, пока не будет достигнут постоянный предельный размах, или при наблюдении той и другой индукции сообщают одинаковое число точек и скачкообразно два одинаковых числа дадут одного и того же порывчатого нарастания, в последнем случае гальванометры при начале наблюдений должны находиться в покое. Обозначим эти суммарные предельные размахи, упомянутые выше, через S с указателями g и h для того и другого положения оси, тогда ось наклона I получается из

$$\operatorname{tg} I = S_g / S_h$$

110. Определение сильного магнитного поля

Сильное магнитное поле получается либо внутри катушки, либо между полюсами магнита либо — в редких случаях — между двумя сильными — между полюсами — электромагнита. Служат они например для исследования слабо магнитных или диамагнитных веществ или для изучения оптических излучений как вращающихся тел или вещества света.

Определение поля внутри катушки вычислением

Внутри тонкой по сравнению с длиной, равномерно обмотанной катушки с n оборотами на каждом см длины ток i CGS 81, 85 88) производить магнитное поле в $4\pi ni$ CGS или гауссов. По мере приближения к концам магнитное поле убывает, но лишь начиная с того места, расстояние которого n от конца настолько мало, что величиною r^2/r^2 (где r радиус катушки) уже нельзя пренебречь сравнительно с единицей. В середине же плоскостей оно вдвое слабее и $2\pi ni$.

Посредством индукции, с применением баллистического гальванометра

Маленький плоский проводник, соединенный с гальванометром (проволочный кружок), охватывающий площадь f , со значительного расстояния сразу вставляется в поле или вынимается из него так, чтобы плоскость проводника была перпендикулярна к силовым линиям. Если H сила поля, то при этом в проводнике наводится электродвижущая сила, интегральная величина которой $\oint E \cdot dl$ (Поворот на 180° вместо удаления дает $2 \oint E \cdot dl$).

Пусть гальванометр даст при этом первое отклонение α , измеренное в делениях шкалы. Допустим, что баллистический переводный множитель гальванометра, в единицах CGS (т. е. в 10 раз меньший, чем тот, который служит для перевода в амперы), равен Ψ (106), а сопротивление цепи тока составит w CGS (т. е. в 10 раз больше, чем при измерении в омах), тогда

$$\oint E \cdot dl = \Psi \alpha w / f$$

(Относительно единиц см 1, № 21, 22, 27)

По высотъ подъема магнитных жидкостей (Квинке)

Пусть в магнитном поле в трубку сойдет жидкость с плотностью ρ и притягиваемой силой $\frac{1}{2} \chi H^2$ на единицу объема. Если h разность уровней h ; тогда

$$\frac{1}{2} \chi H^2 = \rho g h.$$

Постоянная C для данной жидкости при известном среднем изъятном поле. Для насыщенных растворов хлората железа приблизительно $C = 7000$ (h выражено в см).

111. Абсолютное измѣрениe сопротивленій по теплотѣ, выделяемой токомъ

Ученическая задача, основанная на теоремѣ (1, № 28), единицу сопротивления по системѣ CGS имѣетъ проводникъ, въ которомъ токъ въ 1 CGS доставляетъ мощность единицу, т. е. въ 1 сек. развиваетъ количество тепла, эквивалентное работѣ $\text{cm} \times \text{дина}$ или 1 erg . Работѣ $\text{метр} \times \text{г-вѣсь}$, равной $100 \cdot 981 = 98100 \text{ ergовъ}$, соответствуетъ количество теплоты $\frac{1}{427} \text{ г-ка калорій}$, одному эргу соответствуетъ, слѣдовательно $\frac{1}{427 \cdot 98100} = \frac{1}{41900000} \text{ г-ка калорій}$.

Пусть измѣряемое сопротивление находится въ калориметрѣ, наполненномъ m г. дистиллированной воды съ весьма малой электропроводностью. Обозначимъ водный эквивалентъ сосуда, термометра и сопротивленія черезъ γ (48). Пусть постоянный токъ, сила котораго при измѣрении гальгенсъ-буссолью (81) оказалась равной i CGS или по отчету на измѣритель тока, градуированномъ на амперы, $10 i$ амперъ, проходитъ черезъ сопротивление въ течение t сек. Начальная температура Θ_0 , конечная Θ_1 . Противъ тепловыхъ потерь предположимъ, приняты предосторожности, указанныя въ 48, и кромѣ того Θ_1 выбрано сравнительно съ температурой окружающей среды почти настолько же ниже, насколько Θ_1 выше. Отсюда вычисляется сопротивление проводника

$$w = 41900000 \left(m + \frac{\gamma}{i^2} \right) (\Theta_1 - \Theta_0) \text{ [CGS] или } [10^{-9} \text{ омовъ}].$$

112. Сравненіе коэффициентовъ самоиндукціи двухъ проводниковъ телефономъ

Каждое измѣненіе силы тока въ намотанномъ проводникѣ, напримѣръ, въ проволоочной катушкѣ, сопровождается появленіемъ „наведенной въ проводникѣ“ электродвижущей силы, которая оказываетъ сопротивление этому измѣненію, т. е. при усиленіи тока направлена противъ него и наоборотъ. Величина E этой электродвижущей силы во всякій моментъ равна скорости измѣненія силы тока, умноженной на число L зависящее отъ формы проводника и называемое его коэффициентомъ самоиндукціи (электромгнитнымъ потенциаломъ проводника самого на себя или, коротко, самопотенциаломъ). См. 1, 26.

Эта электродвижущая сила (электродвижущая сила, „кстритокъ“) замѣтна прежде всего, при быстромъ прерываніи тока и можетъ достигъ значительной величины, примѣняемой для физиологическихъ и искровыхъ дѣйствій, въ особенности если катушка содержитъ внутри себя желѣзо, магнитныя измѣненія котораго дѣйствуютъ въ томъ же смыслѣ какъ и наводящій „первичный“ токъ. „Трансформаторъ“ переменныхъ токовъ основанъ также на

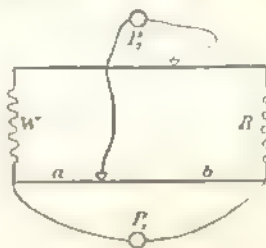
индукции. Однако въ присутствіи желѣза коэффициентъ индукціи не имѣетъ постояннаго значенія, а измѣняется свою величину въ зависимости отъ силы тока.

Если выразить величины, служащія для измѣренія, въ системѣ CGS, то коэффициентъ индукціи получается въ [с.и.], при системѣ омъ, фарадъ и т. д. — въ „квadrантахъ“ или „генри“; ср. 1, 26.

Условіе исчезновенія тока въ мостѣ Витстона — пропорціональность сопротивленій обычныхъ паръ сосѣднихъ вѣтвей достаточно только при измѣреніи постояннымъ токомъ. Если основной токъ имѣетъ переменную силу, напримѣръ, если это переменный токъ, даваемый индукторомъ, то вступить въ силу второе условіе, именну, проводники въ вѣтвяхъ должны быть свободны отъ индукціи, или коэффициенты самоиндукціи сосѣднихъ вѣтвей должны составлять такую же пропорцію, какъ и сопротивления.

Пусть, напримѣръ ab прямая проволока, т. е. свободная отъ самоиндукціи, а W и R обладаютъ самоиндукціей, съ коэффициентами S_W и S_R . Телефонъ въ мостѣ не издаетъ звука только тогда, когда, во-первыхъ, сопротивления $W : R = a : b$ и вмѣстѣ съ тѣмъ $S_W : S_R = a : b$.

Чтобы опредѣлить отношеніе $S_W : S_R$, изслѣдуемые проводники включаютъ параллельно измѣрительной проволоки ab , какъ показывается чертежъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ вводятъ вспомогательную проволоку съ передвижнымъ контактомъ такъ, что ея сопротивленіе можно по произволу распределить между двумя вѣтвями, содержащими W и R . Затѣмъ посредствомъ пробъ ищутъ такое положеніе этого контакта, при которомъ въ телефонѣ вообще наблюдается замѣтный минимумъ силы звука при передвижаніи контакта вдоль ab . Теперь перемѣщаютъ верхній контактъ немного въ сторону и смотрятъ, сталъ ли отъ этого минимумъ лучше или хуже. Въ послѣднемъ случаѣ передвигаютъ верхній контактъ въ другую сторону.



Цѣлымъ рядомъ пробъ находятъ такое положеніе вспомогательнаго контакта, при которомъ минимумъ становится рѣзкимъ. Если это положеніе найдено, то $S_W : S_R = a : b$. Если правильнаго положенія вообще не существуетъ, то сопротивленіе вспомогательной проволоки слишкомъ мало (или проводники, кромѣ самоиндукціи, обладаютъ еще и емкостью; послѣдняя, однако, можетъ вредить лишь при весьма большихъ сопротивленияхъ).

Сравниваемые проводники слѣдуетъ расположить такъ, чтобы они не оказывали индукціоннаго дѣйствія другъ на друга. Надле-

жить наблюдать также за тѣмъ, чтобы не было вредной индукции въ подводящихъ проволокахъ.

113. Электромѣтръ; измѣреніе потенціаловъ (напряженій)

1. Квадрантный электромѣтръ Томсона

Четыре проводящихъ квадранта, соединенные попарно крестъ-накрестъ, образуютъ коробку съ прорѣзами. Внутри нея находится „стрѣлка“, имѣющая стержень съ прикрепленнымъ къ нему черк-льцемъ для производства отсчетовъ, стрѣлка эта подвѣшена на тонкой проволоцѣ, угругость крученія которой дастъ направляющую силу. Средняя линия исклоненной стрѣлки должна почти совпадать съ нулемъ рѣшетъ квадрантавъ, отклоненіе есть результатъ неодинаковаго заряда обѣихъ паръ квадрантавъ.



Успокоеніе колебаній достигается въ большинствѣ инструментовъ посредствомъ маленькой платиновой пластинки (чертежъ) прикрепленной къ тонкой, хорошо центрированной платиновой проволоцѣ и погруженной дълкомъ въ концентрированную, не содержащую пыли сѣрную кислоту тѣ условия, которыя призначены для уменьшенія, имѣютъ цѣлью устранить статическое треніе, „застреваніе“ стрѣлки.

Свой зарядъ (см. ниже) стрѣлка получаетъ или черезъ проволоку, служащую для привѣса, или черезъ сѣрную кислоту.

Ограничимся измѣреніемъ при „квадрантномъ соединеніи“. Измѣряемый потенциалъ (1, № 16) сообщается при этомъ одной изъ паръ квадрантавъ, стрѣлку же поддерживаютъ при постоянномъ вспомогательномъ зарядѣ, соединяя ее съ полюсомъ многопарной, съ другого конца отведенной къ землѣ батареи или сѣрба Замбони, или лейденской банки. Часто лейденская банка бываетъ соединена съ электромѣтромъ такимъ образомъ, что сѣрная кислота образуетъ ея внутреннюю обкладку. Постѣ сообщенія банкѣ свѣжаго заряда равновѣсе стрѣлки иногда бываетъ неустановившо, если выжиданіе не помогаетъ, то слѣдуетъ ослабить зарядъ.

Одна изъ паръ квадрантавъ, такъ же какъ и оболочка электромѣтра, постоянно отведена къ землѣ.

Нулевое положеніе стрѣлки получается тогда, когда обѣ пары квадрантавъ отведены къ землѣ (газовая или водопроводная труба). Постѣ опредѣленія нулевой точки измѣряемый потенциалъ сообщаютъ одной изъ паръ квадрантавъ въ то время, какъ другая отведена къ землѣ, и наблюдаютъ отклоненіе. Затѣмъ производятъ коммутацию этихъ соединений (стр. 204) и наблюдаютъ отклоненіе въ другую сто-

рону. Вполнѣ симметричными отклоненія не будутъ, и потому измѣреніе отклоненій всегда производить съ коммутаціей и брать среднее изъ отчетовъ.

Малыя отклоненія пропорціональнымъ сообщеннымъ потенціаламъ. Въ этихъ предѣлахъ электрометру соответствуетъ опредѣленный переводный множитель C , дающій напряженіе E , соответствующее отклоненію α , по формулѣ $E = C \cdot \alpha$. Для опредѣленія C присоединяютъ къ электрометру нормальный элементъ (80 II) съ извѣстнымъ напряженіемъ E_0 ; если соответствующее отклоненіе есть α_0 , то $C = E_0 / \alpha_0$.

Испытаніе пропорціональности или градуированіе электрометра. 1. Наблюдаютъ, съ примѣненіемъ коммутации, отклоненія, происходящія отъ нѣсколькихъ нормальныхъ элементовъ (80 II), присоединенныхъ порознь и послѣдовательно, причемъ каждый разъ одинъ изъ полюсовъ отводится къ землѣ.

2. Пропускаютъ постоянный токъ черезъ реостатъ большого сопротивленія (1000 омовъ), одна изъ конечныхъ клеммъ котораго отведена къ землѣ, полное напряженіе на клеммахъ (101) реостата должно достигать наивысшаго потенціала, необходимаго для калиброванія. Положимъ, что сила тока i измѣрена въ амперахъ. Одинъ изъ полюсовъ электрометра присоединяется къ клеммѣ, отведенной къ землѣ, а другой соединяется поочередно съ другими точками реостата. Если между полюсами электрометра лежитъ сопротивление n омовъ, то соответствующее напряженіе равно in вольтъ. Посредствомъ коммутации тока получаютъ отклоненія въ ту и другую сторону.

На основаніи этихъ наблюденій, если окажется, что пропорціональность соблюдается недостаточно, строятъ соответствующую данному инструменту кривую, откладывая отклоненія по абсциссамъ, а потенціалы по ординатамъ, или же составляютъ таблицу.

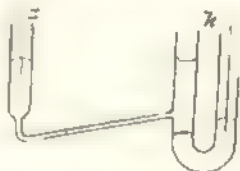
Вслѣдствіе колебаній вспомогательнаго заряда чувствительность слѣдуетъ время отъ времени опредѣлять заново.

II. Капиллярный электрометръ Липпмана

Капиллярное давленіе на поверхности ртути, соприкасающейся съ разбавленной сѣрной кислотой, уменьшается вслѣдствіе поляризаціи водородомъ на величину, почти пропорціональную поляризаціи пока послѣдняя не достигла приблизительно 1 вольта. Дальше уменьшеніе становится медленнѣе

и начиная приблизительно съ 1 вольта, переходитъ въ увеличеніе. Поэтому примѣненіе капиллярнаго электрометра ограничивается малыми напряжениями.

Водный растворъ сѣрной кислоты (25%) соприкасается со ртутью, съ одной стороны, въ капиллярѣ тонко оттянутой стеклянной трубки, съ другой стороны, въ широкой стеклянной трубкѣ. Изъ обѣихъ массъ ртути выходятъ платиновыя проволоки *z* и *k*, служащія полюсами электрометра. Отрицательный полюсъ измѣряемой разности напряженій, которая должна быть < 1 вольта, соединяется съ *z*, другой — съ *k*.



Наблюдаютъ либо при помощи микроскопа величину смѣщенія, либо то измѣненіе давления, которое заставляетъ мѣсто контакта возвратиться къ нулевому положенію. За нулевую точку принимается установка при металлическомъ соединеніи *z* и *k*.

Градуйрование инструмента всего лучше производить по способу № 2, предыдущей страницы.

Послѣ наложенія слишкомъ большой или обратно направленной разности потенциаловъ ртуть въ мѣстѣ соприкосновенія въ капиллярѣ слѣдуетъ возобновить.

Опредѣленіе электродвижущихъ силъ электрометромъ

Производство измѣренія понятно на основаніи предыдущаго. Каждый изъ двухъ сравниваемыхъ элементовъ присоединяютъ къ электрометру такъ, какъ описано выше. Наблюденныя отклоненія, направленные въ случаѣ отступленій отъ пропорциональности (см. пред. стр.), при дѣленіи другъ на друга даютъ отношеніе напряженій или электродвижущихъ силъ элементовъ при отсутствіи тока. Для измѣренія напряженій въ вольтахъ за одинъ изъ элементовъ берутъ нормальный элементъ (80 II).

Опредѣленіе сопротивленій

Измѣряемая сопротивленія одновременно включаютъ послѣдовательно въ одну и ту же цѣпь тока, въ постоянствѣ котораго убѣждаются заранѣе, присоединяютъ къ электрометру концы сначала одного, потомъ другого сопротивленія и по отклоненіямъ опредѣляютъ напряжение между взятыми точками. Отношеніе напряженій даетъ отношеніе сопротивленій.

ТАБЛИЦЫ

1. Приведеніе вѣса къ пустотѣ при взвѣшиваніи латунными разновѣсками

κ	λ	κ	λ	κ	λ
0.7	+ 1.57	2.0	+ 0.41	8	+ 0.007
0.8	1.36	2.5	0.337	9	0.010
0.9	1.19	3.0	0.27	10	0.023
1.0	1.06	3.5	0.200	11	0.034
1.1	0.95	4.0	0.150	12	0.043
1.2	0.88	4.5	0.124	13	0.051
1.3	0.78	5.0	0.097	14	0.057
1.4	0.71	5.5	0.075	15	0.063
1.5	0.66	6.0	0.057	16	0.068
1.6	0.61	6.5	0.042	17	0.072
1.7	0.56	7.0	0.029	18	0.076
1.8	0.52	7.5	0.017	19	0.080
1.9	0.49	8.0	+ 0.007	20	0.083
2.0	+ 0.46			21	0.086

$$\lambda = 120 \left(\frac{1}{\kappa} - \frac{1}{81} \right)$$

Если тѣло плотности κ вѣситъ въ воздухѣ m граммъ то, для приведенія вѣса найденнаго въ воздухѣ, удѣльный вѣсъ котораго 0.0012 къ пустотѣ, слѣдуетъ прибавить къ нему $m \lambda$ миллиграммовъ. Ср 13 II

2. Плотность

Алюминій	2.7	Мѣдь	8.5—8.0	Жидкости при 18°	
Дерево, сль	0.5	Ніпельберъ	8.5		
Букъ, дубъ	0.7	Никель	8.8	Алкоголь C_2H_5O	
Желѣзо, сталь	7.8	Олово	7.3		
Золото	19.2	Платина	21.4	Аммиакъ C_2H_5N	1.02
Известков. лпять	2.71	Пробка	0.2	Бензолъ C_6H_6	0.881
Кальц.	0.87	Свинецъ	11.3	Бромформъ CBr_3	2.86
Кварцъ, кристала	2.65	Серебро	10.5	Оливк. масло	0.91
Константанъ	8.5	Стекло	2.4—2.6	Ртуть 18°	13.552
Литунъ	8.1	Флинтъ	3.0	— 0°	13.590
Ледъ	0.9167	Цинкъ	7.1	Сѣрозлородъ CS_2	1.265
Магній	1.7	KCl	1.98	Хлороформъ $CHCl_3$	1.493
Манганинъ	8.4	K_2SO_4	2.65	Эфиръ C_2H_5O	0.717
		NaCl	2.15		

Газы	Уд. вѣсъ при 0° и 760 мм	Плотность по отношенію	
		къ воздуху	къ водороду
Воздухъ	0.001293	1.0000	14.476
Кислородъ	0.001429	1.1053	16.000
Азотъ	0.001251	0.9673	14.003
Водородъ	0.0000899	0.06950	1.006
Углекислота	0.00197	1.52	22
Гремучій газъ	0.00536	0.4143	6.00

3. Удельный вес водных растворов при 18° по отношению к водѣ при 4°

Процентное содержание означаетъ число вѣсовыхъ частей надписаннаго соединения къ 100 вѣсовыхъ частяхъ раствора. Соли предполагаются безводными. „Норм.“ означаетъ 12-ая нитр., ср. 9а.

%	KCl	KNO ₃	K ₂ SO ₄	NaCl	NaNO ₃	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	%
0	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0
5	1.0408	1.0405	1.0405	1.0412	1.0415	1.0427	1.045	5
10	1.0838	1.0832	1.0833	1.0856	1.0861	1.0881	1.091	10
15	1.0978	1.097		1.0480	1.1090	1.105	1.143	15
20	1.1335	1.133		1.0571	1.1485	1.144		20
25				1.0710	1.1897	1.185		25
30					1.227			30
Норм	1.0449	1.0602	1.0660	1.0153	1.0392	1.0544	1.0604	Норм

%	BaCl ₂	MgSO ₄	ZnSO ₄	CuSO ₄	BiNO ₃	H ₂ SO ₄	Аммон. сѣ.	Сахаръ	%
0	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.9986	0.9986	0.9986	0
5	1.044	1.050	1.051	1.051	1.057	1.0423	0.9898	1.0183	5
10	1.093	1.104	1.107	1.107	1.056	1.0669	0.9824	1.0386	10
15	1.147	1.160	1.167	1.167	1.086	1.103	0.9760	1.0697	15
20	1.204	1.220	1.232		1.118	1.1106	0.9696	1.0815	20
25	1.268	1.283	1.305		1.151	1.180	0.9628	1.1042	25
30			1.379		1.184	1.220	0.9551	1.1277	30
35					1.217	1.261	0.9463	1.1520	35
40					1.250	1.304	0.9367	1.1773	40
45					1.283	1.349	0.9264	1.2044	45
50					1.314	1.397	0.9155	1.2364	50
55					1.344	1.447	0.9043	1.2584	55
60					1.372	1.500	0.8928	1.2874	60
65					1.397	1.555	0.8811	1.3173	65
70					1.418	1.612	0.8693	1.348*	70
75					1.438	1.671	0.8574	1.380*	75
80					1.457	1.729	0.8452	* пересчит.	80
85						1.781	0.8327		85
90						1.817	0.8197		90
95						1.836	0.8060		95
100						1.833	0.7911		100
Норм.	1.0891	1.0514	1.0791	1.0777	1.0527	1.037		1.1294	Норм.

4. Плотность воды

и

объемъ V въ см^3 при 18° стекляннаго сосуда,содержащаго при 16° количество воды кажущийся въсь которой равенъ при взвѣшиваннн латунными разновѣсками въ воздухъ удѣльнаго вѣса 0.00120 одному грамму.

(Ср. стр. 70)

t	Плотность	Разность	Объемъ V	Разность
0°	0.999 87		1.001 64	
1	0.999 93	+ 6	1.001 56	- 8
2	0.999 97	+ 2	1.001 49	7
3	0.999 99	+ 1	1.001 44	5
4	1.000 00		1.001 41	3
				2
5	0.999 99	- 2	1.001 39	
6	0.999 97	- 4	1.001 39	+ 1
7	0.999 93	- 5	1.001 40	+ 3
8	0.999 89	- 7	1.001 43	+ 4
9	0.999 81	- 8	1.001 47	+ 6
				+ 7
10	0.999 73	- 10	1.001 53	7
11	0.999 63	- 11	1.001 60	5
12	0.999 52	- 12	1.001 68	+ 10
13	0.999 40	- 13	1.001 78	+ 11
14	0.999 27	- 14	1.001 89	+ 12
				+ 13
15	0.999 13	- 16	1.002 01	+ 15
16	0.998 97	- 17	1.002 14	+ 15
17	0.998 80	- 18	1.002 29	+ 15
18	0.998 62	- 19	1.002 44	+ 17
19	0.998 43	- 20	1.002 61	+ 17
				+ 17
20	0.998 24	- 21	1.002 78	+ 19
21	0.998 02	- 22	1.002 97	+ 20
22	0.997 80	- 23	1.003 17	+ 21
23	0.997 57	- 24	1.003 38	+ 22
24	0.997 33	- 26	1.003 60	+ 23
				+ 23
25	0.997 07	- 26	1.003 83	+ 23
26	0.996 81	- 27	1.004 06	+ 25
27	0.996 54	- 28	1.004 31	+ 26
28	0.996 26	- 29	1.004 57	+ 27
29	0.995 97	- 29	1.004 84	+ 27
				+ 27
30	0.995 68		1.005 11	

5. Удѣльный объемъ
воды, т. е. объемъ
одного грамма воды
въ кубическихъ
сантиметрахъ между
 0° и 100°

Темп.	Объемъ	Пираш- ше на 1°
0°	1.000 13	
4	1.000 00	
10	1.000 27	0.000 12
15	1.000 87	18
		23
20	1.001 77	28
25	1.002 94	33
30	1.004 35	37
35	1.005 98	41
		44
40	1.007 82	48
45	1.009 85	51
50	1.012 07	55
55	1.014 48	58
		61
60	1.017 05	65
65	1.019 79	68
70	1.022 70	71
75	1.025 76	74
		76
80	1.028 99	78
85	1.032 37	79
90	1.035 90	
95	1.039 59	
99	1.042 65	
100	1.043 43	0.000 79
101	1.044 22	

6. Удельный вес сухого атмосферного воздуха при температурѣ t и давлении H м и ртутного столба

t	Давление							
	$H = 700$	710	720	730	740	750	760	770
0^0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	1191	1208	1225	1242	1259	1276	1293	1310
11	1149	1165	1182	1198	1215	1231	1247	1264
12	1145	1161	1178	1194	1210	1227	1243	1259
13	1141	1157	1173	1190	1206	1222	1239	1255
14	1137	1153	1169	1186	1202	1218	1234	1251
15	1133	1149	1165	1181	1198	1214	1230	1246
16	1129	1145	1161	1177	1193	1210	1226	1242
17	1125	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1238
18	1121	1137	1153	1169	1185	1201	1217	1233
19	1117	1133	1149	1165	1181	1197	1213	1229
20	1113	1129	1145	1161	1177	1193	1209	1225
21	1110	1126	1141	1157	1173	1189	1205	1221
22	1106	1122	1137	1153	1169	1185	1201	1216
23	1102	1118	1134	1149	1165	1181	1197	1212
24	1098	1114	1130	1145	1161	1177	1193	1208
25	1095	1110	1126	1142	1157	1173	1189	1204
26	1091	1107	1122	1138	1153	1169	1185	1200

7. Приведение объема газа къ 0^0 и 760 мм

Если объемъ и плотность при температурѣ t и давлении H найдены равными v и s , то при 0^0 и 760 мм они будутъ

$$v_0 = \frac{v}{1 + \alpha t} \cdot \frac{H}{760} \quad \text{и} \quad s_0 = s(1 + \alpha t) \frac{760}{H},$$

гдѣ $\alpha = 0.00367$.

t	$1 + \alpha t$	t	$1 + \alpha t$
10 ⁰	1.0367	20 ⁰	1.0734
11	1.0404	21	1.0771
12	1.0440	22	1.0807
13	1.0477	23	1.0844
14	1.0514	24	1.0881
15	1.0550	25	1.0917
16	1.0587	26	1.0954
17	1.0624	27	1.0990
18	1.0661	28	1.1028
19	1.0697	29	1.1064
20	1.0734	30	1.1101
		99	1.3633
		100	1.3670
		101	1.3707

H	$H/760$	$P, P.$	
мм		мм	
700	0.9211	0	131
710	0.9342	0	132
720	0.9474	1	133
730	0.9605	2	134
740	0.9737	3	135
750	0.9868	4	136
760	1.0000	5	137
770	1.0132	6	138
780	1.0263	7	139
790	1.0395	8	140
800	1.0526	9	141
810	1.0658	10	142
820	1.0789	11	143

8. Приведение барометрической высоты к 0°

Изъ высоты барометра h , отчитанной при t° на шкалѣ, вѣрной при 0°, вычитается $(0.000181 - \beta) h$. Коэффициентъ расширения шкалы β принять для латуни равнымъ 0.000019.

При стеклянной шкалѣ достаточно умножить числа таблицы на 0.008 t .

t	Отчитанная высота въ мм									
	680	700	710	720	730	740	750	760	770	
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
10°	1.11	1.12	1.14	1.16	1.17	1.19	1.21	1.22	1.24	1.26
11	1.22	1.24	1.26	1.27	1.29	1.31	1.33	1.34	1.36	1.38
12	1.33	1.35	1.37	1.39	1.41	1.43	1.45	1.47	1.49	1.51
13	1.44	1.46	1.48	1.50	1.53	1.55	1.57	1.59	1.61	1.63
14	1.55	1.57	1.60	1.62	1.64	1.67	1.69	1.71	1.73	1.76
15	1.66	1.69	1.71	1.74	1.76	1.78	1.81	1.83	1.86	1.88
16	1.77	1.80	1.83	1.85	1.88	1.90	1.93	1.96	1.98	2.01
17	1.88	1.91	1.94	1.97	2.00	2.02	2.05	2.08	2.11	2.13
18	2.0	2.02	2.05	2.08	2.11	2.14	2.17	2.20	2.23	2.26
19	2.11	2.14	2.17	2.20	2.23	2.26	2.29	2.32	2.35	2.38
20	2.22	2.25	2.28	2.31	2.35	2.38	2.41	2.45	2.48	2.51
21	2.33	2.36	2.40	2.43	2.46	2.50	2.53	2.57	2.60	2.64
22	2.44	2.47	2.51	2.55	2.58	2.62	2.65	2.69	2.73	2.76
23	2.55	2.59	2.62	2.66	2.70	2.74	2.77	2.81	2.85	2.89
24	2.66	2.70	2.74	2.78	2.82	2.86	2.89	2.93	2.97	3.01
25	2.77	2.81	2.85	2.89	2.93	2.97	3.02	3.06	3.10	3.14

9 Средняя барометрическая высота h на высотѣ H надъ уровнемъ моря

H	h
м	мм
0	760
100	751
200	742
300	733
400	724
500	716
600	707
700	699
800	690
900	682
1000	674
1100	666
1200	658
1300	650
1400	642
1500	635
1600	627
1700	620
1800	612
1900	605
2000	598

10. Капиллярная депрессія ртути

Диаметръ	Высота мениска въ мм							
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
4	0.83	1.22	1.54	1.98	2.37			
5	0.47	0.65	0.86	1.19	1.45	1.80		
6	0.27	0.41	0.56	0.78	0.98	1.21	1.43	
7	0.18	0.28	0.40	0.53	0.67	0.82	0.97	1.13
8		0.20	0.29	0.38	0.46	0.56	0.65	0.77
9		0.15	0.21	0.28	0.33	0.40	0.46	0.52
10			0.15	0.20	0.25	0.29	0.33	0.37
11			0.10	0.14	0.18	0.21	0.24	0.27
12			0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.19
13			0.04	0.07	0.10	0.12	0.13	0.14

13. Насыщенный водяной парь. Гигрометрическая таблица

Упругость e въ мм ртутнаго столба и масса / 1 м³ въ граммахъ

t	e назь миллмъ	f	t	e	f	t	e	f	t	e	f
мм	мм	г	мм	мм	г	мм	мм	г	мм	мм	г
-10	2.0	2.2	0	4.6	4.8	10	9.2	9.4	20	17.4	17.2
-9	2.2	2.4	1	4.9	5.0	11	9.8	10.0	21	18.0	18.2
-8	2.4	2.6	2	5.3	5.6	12	10.4	10.7	22	18.7	19.3
-7	2.6	2.8	3	5.7	6.0	13	11.1	11.3	23	19.4	20.4
-6	2.8	3.0	4	6.1	6.4	14	11.9	12.0	24	20.2	21.6
-5	3.0	3.3	5	6.5	6.8	15	12.7	12.8	25	21.1	22.9
-4	3.3	3.5	6	7.0	7.3	16	13.6	13.6	26	22.0	24.2
-3	3.6	3.8	7	7.5	7.8	17	14.5	14.4	27	23.0	25.6
-2	3.9	4.2	8	8.0	8.3	18	15.4	15.3	28	24.1	27.0
-1	4.2	4.5	9	8.6	8.8	19	16.4	16.2	29	25.3	28.5
0	4.6	4.8	10	9.2	9.4	20	17.4	17.2	30	26.6	30.1

14. Температура кипѣнія t воды при высотѣ h барометра или упругость h пара при температурѣ t

h	t	h	t	h	t	h	t	h	t	h	t
мм	0	мм	0	мм	0	мм	0	мм	0	мм	0
680	98.92	700	99.71	720	98.40	740	99.26	760	100.00	780	100.73
81	98.90	81	99.75	81	98.53	81	99.39	81	100.04	81	100.76
82	97.80	82	99.79	82	98.57	82	99.42	82	100.07	82	100.80
83	97.04	83	99.83	83	98.61	83	99.47	83	100.11	83	100.84
84	96.08	84	99.87	84	98.65	84	99.41	84	100.15	84	100.87
85	95.12	85	99.91	85	98.69	85	99.44	85	100.18	85	100.91
86	94.16	86	99.95	86	98.73	86	99.48	86	100.22	86	100.94
87	93.20	87	99.99	87	98.76	87	99.52	87	100.26	87	100.98
88	92.24	88	99.93	88	98.80	88	99.56	88	100.29	88	101.02
89	91.28	89	99.97	89	98.84	89	99.60	89	100.33	89	101.05
900	90.32	910	99.91	920	98.88	930	99.64	940	100.37	950	101.09
91	89.36	91	99.94	91	98.91	91	99.67	91	100.40	91	101.12
92	88.40	92	99.98	92	98.95	92	99.70	92	100.44	92	101.16
93	87.44	93	99.92	93	98.98	93	99.74	93	100.48	93	101.19
94	86.48	94	99.96	94	99.03	94	99.78	94	100.51	94	101.23
95	85.52	95	99.90	95	98.97	95	99.82	95	100.55	95	101.26
96	84.56	96	99.94	96	98.99	96	99.85	96	100.58	96	101.30
97	83.60	97	99.98	97	99.04	97	99.89	97	100.62	97	101.33
98	82.64	98	99.92	98	99.08	98	99.93	98	100.65	98	101.37
99	81.68	99	99.96	99	99.12	99	99.97	99	100.69	99	101.41
700	99.71	720	99.40	740	99.26	760	100.00	780	100.73	800	101.44

15. Приведение периода колебания къ безконечно малым колебаниямъ

Изъ периода колебания t маятника или маятника, наблюдаеннаго при полной дугѣ колебания α , слѣдуетъ вычесть kt (28).

α	k	α	k
0° 0 00000		20° 0 00000	36
1 0000	1	21 0000	36
2 0002	2	22 0000	36
3 0004	3	23 0000	36
4 0008	4	24 0000	36
5 0012	5	25 0000	36
6 0014	6	26 0000	36
7 0023	7	27 0000	36
8 0030	8	28 0000	36
9 0039	9	29 0000	36
10 0048	10	30 0000	36
11 0058	11	31 0000	36
12 0069	12	32 0000	36
13 0080	13	33 0000	36
14 0093	14	34 0000	36
15 0107	15	35 0000	36
16 0122	16	36 0000	36
17 0138	17	37 0000	36
18 0154	18	38 0000	36
19 0172	19	39 0000	36
20 00190	20	40 0000	36

16. Модуль упругости E въ кг-вѣсъ/мм², скорость звука u въ м/сек,

сопротивление разрыву p
въ кг-вѣсъ/мм²
тянутыхъ металловъ

Числа приблизительныя.

	E	Плотности	u	p
Алюминъ	6500	2.7	5000	
Древесная волока	отъ 500 до 1200		отъ 900 до 1000	отъ 15 до 5
Железо	10000	7.8	5000	отъ 25 до 60
Золото	8000	19.2	2100	15
Латунь	9000	8.3	3200	40
Мѣдь	12000	8.7	3700	40
Нейсильберъ	12000	8.5	3700	
Никель	20000	8.8	4700	
Олово	1000	7.3	2500	2
Платина	17000	21.4	2800	30
Свинецъ	1000	11.3	1300	2
Серебро	7000	10.5	2700	20
Сталь	21000	7.8	5100	70
Стекло	6500	2.5	5000	
Цинкъ	9000	7.1	3000	13

17. Высота тона и число колебаній въ секунду

(Для темперированной настройки, при $a_1 = 435$. Ср 57).

	C	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C	16.17	32.33	64.66	129.3	258.7	517.3	1034
Cis	17.15	34.25	68.51	137.0	274.0	548.1	1096
D	18.15	36.25	72.50	145.2	290.3	580.7	1161
Dis	19.22	38.45	76.90	153.8	307.6	615.2	1230
E	20.37	40.74	81.47	162.9	325.9	651.8	1304
F	21.68	43.36	86.71	172.6	345.3	690.5	1381
Fis	22.86	45.72	91.45	182.9	365.8	731.6	1463
G	24.22	48.44	96.89	193.8	387.5	775.1	1550
Gis	25.66	51.32	102.65	205.3	410.6	821.2	1642
A	27.19	54.37	108.75	217.5	435.0	870.0	1740
Ais	28.80	57.61	115.22	230.4	460.9	921.7	1843
H	30.52	61.03	122.07	244.1	488.3	976.5	1953

18. Спектральные линии въ спектрѣ пламени

Шкала Бунзена-Кирхгофа линия натрия на 50, ширина щели — 1 дѣленію шкалы. Верхнее число — положеніе середины линии, нижнее — ширина ея, если она больше одного дѣленія шкалы. Римская цифра — яркость при дѣлшемся спектрѣ.

S означаетъ „очень рѣзко очерчена“, *s* „довольно рѣзко“. Остальныя линии представляются болѣе или менѣе размытыми.

Важнѣйшія для анализа линии отпечатаны жирнымъ шрифтомъ.

Цифры (приблизительныя): красный до 48, желтый до 52, зеленый до 80, голубой до 120, фиолетовый отъ 120. Водородныя и фраунгоферовыя линии см. табл. 19.

<i>K</i>	17.5 II S	Слабый спектръ отъ 55 до 100								130 IV S
<i>Li</i>		32.0 IS		45.2 IV s						
<i>Ca</i>		33.1 IV 2	36.7 IV 1	41.7 II S	46.8 III 2	49.0 III	58.5 IV	54.9 IV	60.8 IV 1	68.0 IV 2
<i>Sr</i>		29.8 III	32.1 II	33.8 II	36.3 II	40.9 III	41.8 III	45.8 IS		105.0 III S
<i>Ba</i>		33.1 IV 2	36.7 III 3	40.9 IV 1	45.2 IV	49.0 IV 1	58.5 IV 2	60.8 IV 3	71.4 IV 3	76.8 IV 4
<i>Pb</i>									82.7 IV 4	89.3 III 2
<i>Tl</i>										

19. Длина волны λ , положеніе p на шкалѣ Бунзена-Кирхгофа, показатели преломленія, вращеніе въ кварцѣ въ 1 мм толщины для фраунгоферовыхъ линий

Показатели преломленія для кварца убываютъ на 0.0008 съ повыше-ніемъ температуры на 1°.

Фраунгоф. линія	A	B	C (H, D)	Ca	E	F (H, I (H))	G	H (H)
$\lambda \cdot 10^8 = \text{м.м} \times p =$	76.7 18.0	687 29	656 35	589 50.0	527 71.3	486 90	434 125	397 162
Вода 18°	1.3363	1.3349	1.3317	1.33	1.328	1.327	1.3410	1.3441
Алкоголь 18°	1.3628	1.360	1.356	1.3521	1.347	1.347	1.363	1.373
Сѣроуглеродъ 18°	1.6183	1.6166	1.6148	1.6133	1.6121	1.611	1.6171	1.6180
Кров. (легкій)	1.5099	1.508	1.507	1.503	1.506	1.504	1.524	1.5317
Смесь (тяжелый)	1.5097	1.507	1.506	1.503	1.505	1.504	1.524	1.5308
Фенил (легкій)	1.5089	1.506	1.505	1.503	1.504	1.503	1.524	1.5304
Смесь (тяжелый)	1.509	1.506	1.505	1.503	1.503	1.503	1.524	1.531

Вращеніе въ кварцѣ 12.70 | 15.70 | 17.30 | 21.710 | 21.7 | 31.7 | 42.8 | 49.0 | 51.20

Главные показатели преломленія для извѣстныхъ веществъ

Известковый

длина 1.678 | 1.4804 | 1.48 | 1.593 | 1.520

Кварцъ 1.442 | 1.553 | 1.55 | 1.682 | 1.530

Бензолъ 1.50 | 1.56 | 1.56 | 1.56 | 1.56 | 1.56 | 1.56 | 1.56 | 1.56

20. Удельное электрическое сопротивление σ металлов при 18°

Большинство чисел приблизительны.

σ представляет сопротивление кубика сантиметра, 10^9 сопротивление проволоки в 1 см длины и 1 мм² в сечении — в омах. Сопротивление проволоки в 1 см длины и q мм² в сечении равно $10^9 / q$ омов.

Чистота относится вообще к металлам мягким металлам. Закалка и особенно примеси повышают сопротивление.

Температурный коэффициент представляет относительное увеличение сопротивления на +1°.

	$10^9 \sigma$	Темп. коэфф.
Серебро	0.016	+0.004
Медь	0.017	0.004
Цинк	0.061	0.004
Железо	от 0.09 до 0.15	0.005
Платина, чистая	0.11	0.004
„ продажная	0.014	0.003
Свинец	0.21	+0.004
Ртуть	0.953	0.0000
Латунь	от 0.07 до 0.09	0.002
20% платина-серебро	0.20	0.00033
Никель	от 0.10 до 0.10	от 0.001 до 0.003
Патентникель	0.33	+0.0002
Константан	0.40	0
Манганин	0.42	0
Ретортный уголь	около 50	от 0.032 до 0.038

21. Электропроводность водных растворов при 18°

Проценты означают число ионных частей растворенного тела в 100 ионных частях раствора. Соли предполагаются безводными.

κ — электропроводность при 18° в ом⁻¹ см⁻¹, ср. стр. 232

$\Delta \kappa$ представляет приращение κ на 1% в процентах κ_0

Раст- воры	KCl		NH ₄ Cl		NaCl		MgSO ₄		CuSO ₄		ZnSO ₄		H ₂ SO ₄		HNO ₃	
	κ	$\Delta \kappa$	κ	$\Delta \kappa$	κ	$\Delta \kappa$	κ	$\Delta \kappa$	κ	$\Delta \kappa$	κ	$\Delta \kappa$	κ	$\Delta \kappa$	κ	$\Delta \kappa$
5%	0.066	2.0	0.92	2.0	0.67	2.0	0.56	2.0	0.19	2.0	0.19	2.0	1.36	1.21	1.38	1.00
10	1.40	1.6	1.8	1.6	1.21	1.6	0.41	0.52	0.52	2.0	0.92	1.28	3.05	1.28	3.05	1.40
15	2.22	1.8	2.06	1.8	1.64	2.0	0.48	0.52	0.61	2.0	1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
20	2.68	1.7	2.37	1.6	1.96	2.2	0.48	0.52	0.61	2.0	1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
25			2.63	1.6	2.14	2.2	0.48	0.52	0.61	2.0	1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
30									0.61	2.0	1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
35											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
40											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
45											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
50											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
55											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
60											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
65											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
70											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
75											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
80											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
85											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
90											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
95											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
100											1.33	1.30	4.13	1.30	4.13	1.40
Max									0.81		1.40		4.13		4.13	
Гру									2.00		3.00		4.13		4.13	

22. Предѣльные электролитическія подвижности іоновъ въ разбавленныхъ водныхъ растворахъ при 18° (стр. 238)

Катионы				Анионы	
H	318	Ba	56	OH	174
K	65	Sr	52	Cl	65
Na	44	Ca	52	Br, J	67
L	33	Mg	46	NO ₃	62
NH ₄	64	Zn	47	C ₂ H ₃ O ₂	35
Ag	54	Cu	47	SO ₄	68

23. Земной магнитизмъ въ средней Европѣ для 1906

Среднее годовое измѣненіе: горизонтальной составляющей +0.00025 CGS, склоненія — 0.07°, наклоненія — 0.03°.

Горизонтальная составляющая въ единицахъ CGS или гауссахъ.

Широта восточн.	Долгота къ востоку отъ Гринвича											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
45	0.215	0.216	0.218	0.219	0.220	0.222	0.223	0.224	0.226	0.227	0.228	
46	210	212	213	215	216	217	219	220	221	222	223	
47	206	207	209	210	211	213	214	215	216	217	218	
48	201	203	204	205	207	208	209	210	212	213	214	
49	197	198	200	201	202	203	205	206	207	208	209	
50	192	194	195	196	198	199	200	202	203	204	205	
51	188	190	191	192	193	195	196	197	199	200	201	
52	184	185	187	188	189	190	192	193	194	196	197	
53	180	181	183	184	185	186	188	189	191	192	193	
54	176	177	178	180	181	182	183	184	186	187	188	
55	172	173	175	176	177	178	179	180	181	182	183	

Западное склоненіе

Широта западн.	Долгота къ востоку отъ Гринвича								
	50	6	7	8	9	10	11	12	13
45	12.5	12.1	11.7	11.4	11.2	10.5	10.1	9.6	9.2
50	13.3	12.9	12.4	11.9	11.4	11.0	10.5	10.1	9.5
55	14.1	13.6	13.1	12.4	11.8	11.3	10.7	10.2	9.6
	14	15	16	17	18	19	20	21	22
45	8.90	8.5	8.0	7.5	7.1	6.6	6.2	5.8	5.3
50	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.6	6.1	5.6	5.1
55	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	4.9

Наклоненіе

Широта северн.	Долгота къ востоку отъ Гринвича			
	50	10	15	20
450	61.30	60.80	60.20	59.70
50	65.3	64.8	64.3	64.0
55	68.8	68.3	68.0	67.6

24. Атомные вѣса (Кислородъ = 16·00)

Азотъ	N	14·04	Мѣдь	Cu	63·6
Алюминій	Al	27·1	Натрій	Na	23·05
Барій	Ba	137·4	Никель	Ni	58·7
Боръ	B	11·0	Олово	Sa	119·0
Бромъ	Br	79·96	Платина	Pt	194·8
Водородъ	H	1·008	Ртуть	Hg	200·0
Желѣзо	Fe	55·9	Свинецъ	Pb	206·9
Золото	Au	197·2	Серебро	Ag	107·93
Иодъ	J	126·97	Стронцій	Sr	87·6
Кадмій	Cd	112·4	Сѣра	S	32·06
Калій	K	39·15	Углеродъ	C	12·00
Кальцій	Ca	40·1	Фосфоръ	P	31·0
Кислородъ	O	16·00	Фторъ	F	19·0
Кремній	Si	28·4	Хлоръ	Cl	35·45
Литій	Li	7·03	Хромъ	Cr	52·1
Магній	Mg	24·36	Цинкъ	Zn	65·4
Марганецъ	Mn	55·0			

25. Географическое положеніе и высота надъ уровнемъ моря нѣкоторыхъ мѣстъ

Вост. геогр. долгота отъ Ферро больше на 17° 00'.

	Вост. Гринв.	Сѣверн. широта	Надъ моремъ		Вост. Гринв.	Сѣверн. широта	Надъ моремъ
	0	0	м		0	0	м
Ахенъ ¹⁾	6·1	50·78	180	Лена	11·6	50·94	160
Амстердамъ	4·9	52·37		Казань	49·1	55·79	70
Базель	7·6	47·56	260	Кассель	9·5	51·32	100
Берлинъ	13·4	52·30	40	Кельнъ	7·0	50·94	10
Бернъ	7·4	46·95	550	Кёнигсбергъ	20·5	54·71	
Боннъ	7·1	50·73	50	Кіевъ	30·5	50·45	180
Брауншвейгъ	10·5	52·27	100	Копенгагенъ	12·6	55·69	
Бременъ	8·8	53·08		Лейпцигъ	12·4	51·34	100
Бреславль	17·0	51·11	130	Мадридъ	3·7	40·41	660
Брюссель	4·4	50·85	90	Миланъ	9·2	45·47	130
Варшава	21·0	52·22	110	Москва	37·6	55·76	140
Вашингтонъ	77·0	38·89		Мюнхенъ	11·6	48·15	530
Вѣна	16·4	48·23	180	Одесса	30·8	46·48	50
Галле	12·0	51·49	100	Парижъ	2·3	48·83	60
Гамбургъ	10·0	53·55		Петербургъ	30·3	59·94	
Ганноверъ	9·7	52·38	70	Пештъ	19·1	47·50	70
Гейдельбергъ	8·7	49·41	100	Прага	14·4	50·09	200
Гельсингфорсъ	25·0	60·16		Рига	24·1	56·94	
Гиссенъ	8·6	50·59	140	Римъ	12·4	41·90	30
Грацъ	15·4	47·08	360	Стокгольмъ	18·1	59·34	
Грайфсвальдъ	13·4	54·10		Страсбургъ	7·8	48·58	150
Гринвичъ	0·0	51·48		Ташкентъ	69·3	41·33	460
Данцигъ	18·7	54·35		Тифлисъ	44·8	41·68	490
Дармштадтъ	8·7	49·87	140	Харьковъ	36·2	50·00	140
Дерптъ	26·7	58·38	50	Цюрихъ ²⁾	8·6	47·38	460
Дрезденъ	13·7	51·04	100	Штутгартъ	9·2	48·78	270
Инсбрукъ	11·4	47·27	570	Эрлангенъ	11·0	49·60	320

¹⁾ 180—200 м ²⁾ 420—500 м

26. Склонение солнца, уравнение времени и звѣздное время для средняго полдня на 15 меридианѣ къ востоку отъ Гринвича (общее время для средней Европы). См. еще табл. 27.

Звѣздное время въ полдень возрастаетъ въ сутки на 3 мин 56 6 сек 236.6 сек.

Среднее мѣстное время = солнечное время + уравнение времени

+ Числа въ скобкахъ относятся къ високоснымъ годамъ

	Склоненіе солнца	Разница въ сутки	Уравне- ніе времени	Звѣзд- ное время въ пол- день		Склоненіе солнца	Разница въ сутки	Уравне- ніе времени	Звѣзд- ное время въ пол- день
Янв. 0 (1)	23 10	102	+ 4 15	18 38 42	Июль 4	22 02	109	+ 4 0	6 48 4
5 (1)	22 54	109	34	58 24	9	22 41	108	4 49	7 7 47
10 (11)	21 09	109	7 42	19 18 7	14	21 73	164	5 29	27 30
15 (10)	21 16	108	9 36	37 59	19	20 01	164	5 58	47 19
20 (1)	21 16	108	11 13	55 33	24	18 04	164	6 13	8 6 56
25 (10)	20 01	108	12 33	20 1 16	29	18 83	222	6 13	20 38
30 (11)	17 11	108	13 12	36 08	Авг. 3	14 09	248	7	46 21
Февр. 4 (5)	16 17	107	14 0	56 41	8	16 23	252	7 27	9 6 4
9 (10)	14 73	107	14 27	2 16 24	13	14 76	254	4 42	25 47
14 (1)	13 08	107	14 25	36 7	18	13 19	260	5 44	45 29
19 (20)	11 34	104	14 5	49	23	11 64	260	7 33	10 5 12
24 (20)	9 12	104	13 28	22 11 32	28	8 81	300	1 11	24 5
Мартъ 1	7 01	101	12 36	35 13	Сент. 2	8 01	300	0 20	44 38
6	4 3	100	11 31	54 38	7	6 16	307	1 39	11 4 21
11	3 8	100	10 15	23 14 41	12	4 25	308	3 41	24 3
16	1 81	100	8 52	34 23	17	2 33	304	1 26	43 46
21	0 16	101	7 23	34 6	22	0 4	300	7 12	12 3 29
26	0 13	101	5 2	6 13 49	27	1 10	300	8 5	23 12
31	4 08	101	4 10	33 32	Окт. 2	3 49	308	10 34	42 34
Апр. 5	6 09	101	2 49	3 34	7	1 42	300	12 4	13 2 37
10	7 57	101	1 23	1 12 37	12	0 37	300	13 24	22 20
15	9 09	101	0 4	32 40	17	0 19	300	14 31	42 3
20	11 45	101	1 5	5 3	22	0 09	300	15 23	14 1 45
25	13 12	101	2 4	2 12	27	0 73	300	16 3	2 28
30	14 5	101	2 5	31 48	Ноябрь 1	14 38	300	16 38	41 11
Май 5	16 19	100	3 2	31 3	6	1 04	312	16 36	15 0 54
10	17 57	100	3 48	3 11 14	11	1 38	308	15 32	2 37
15	18 82	100	3 33	30 37	16	18 31	300	15 7	40 19
20	19 04	100	3 3	50 33	21	16 89	300	14 2	36 0 2
25	20 09	100	3 23	4 16 32	26	20 32	300	12 36	49 45
30	21 14	101	2 49	0	Дек. 1	2 79	314	10 33	39 38
Июн. 4	22 0	100	0 4	49 38	6	22 43	300	8 34	39 30
9	22 02	100	1 11	3 9 33	11	23 30	300	6 40	17 18 53
14	23 6	100	0 0	29 3	16	23 39	300	4 17	38 3
19	24 43	100	0 0	18 36	21	23 4	300	4 19	58 19
24	23 43	100	2 0	6 8 39	26	23 39	312	9 41	18 18 2
29	23 3	100	3 2	6 28 32	31	23 12	300	3 8	18 37 44

**27. Таблица поправок
для начала года**

Годъ	Поправка
	сутки
1904	+ 0.00
1905	0.24
1906	- 0.48
1907	- 0.72
1908	+ 0.03
1909	- 0.21
1910	- 0.45
1911	- 0.69
1912	+ 0.06
1913	- 0.18
1914	- 0.42

**28. Средняя
рефракція свѣтила**

Высота	Рефракція
0	0
5	0.16
7	0.12
10	0.09
15	0.06
20	0.044
30	0.028
40	0.019
50	0.013
60	0.009
70	0.006
80	0.003
90	0.000

29. Различные числа

$\pi = 3.1416$, $\pi^2 = 9.8696$; $1/\pi = 0.31831$, $\lg \pi = 49715$

Основаніе натуральныхъ логарифмовъ $e = 2.7183$; $\lg e = 43429$.

Уголъ, дуга котораго равна радиусу,

$$= 57.296^\circ = 3437.7' = 206265''.$$

1 парижскій футъ ($12''$; $144''$) = 0.32484 м, 1 геогр. миля = 7.4204 км;

1 рейнскій футъ ($12''$; $144''$) = 0.31985 м, 1 морская миля = 1.852 км;

1 англ. футъ ($12''$; $120''$) = 0.30479 м, 1 англ. миля = 1.609 км;

1 англ. фунтъ (a. d. p.) = 16 унцъ 256 драхмъ 453.6 г,

1 тонна = 2240 фунтовъ.

Средній радиусъ земли = 6367.4 км.

Средняя продолжительность гражд. года = 365 сутокъ 4 часовъ 48 минутъ.

Скорость звука въ сухомъ воздухѣ при 0° = 331 м/сек.

Коэффициентъ расширенія газовъ = 0.00367 ($^\circ$ грав).

1 г - вѣсъ подъ 45° широты = 980.6 дина.

1 атмосфера = 1033 г - вѣсъ см^2 = 1013200 дина см^2 .

1 водяная г - калорія = 427 г - вѣсъ хл. = 4.900000 дина хл. или эрговъ.

1 вольтъ-амперъ или ваттъ = 10^7 эрговъ/сек. = 0.102 м хл. - вѣсъ/сек.

0.00136 лошади силы = 0.239 водяной г. калорій/сек.

Теплота плавленія льда = 80° , теплота парообразованія воды = 539 калорій.

Удельная теплота воздуха при постоянномъ давленіи = 0.238.

Отношеніе уд. теплотъ для воздуха или водорода = 1.40.

Капиллярная постоянная воды 7.7, алкоголя 2.4, ртути 50 м - вѣсъ м.м.

Отношеніе молекулярнаго вѣса къ плотности пара = 28.95.

Скорость свѣта въ пустотѣ = 300000 км/сек.

30. Логарифмы

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	42
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	38
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	35
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	32
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	30
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	28
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	26
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	25
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	24
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	22
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	21
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	20
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	19
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	19
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3963	18
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	17
26	4150	4166	4183	4200	4216	4233	4249	4265	4281	4298	16
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	16
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	15
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	15
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	14
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	14
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	13
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	13
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	13
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	12
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	12
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	12
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	11
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	11
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	11
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	10
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	10
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	10
44	6435	6445	6455	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	10
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6608	6618	10
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	9
47	6721	6731	6740	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	9
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	9
49	6902	6911	6920	6929	6937	6946	6955	6964	6972	6981	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	9
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	8
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	8
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	8
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	8
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7544	7551	8
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	8
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	7
60	7781	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.

Логарифмы

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	7
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	7
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	7
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	7
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	7
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	7
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	6
69	8388	8395	8401	8407	8413	8420	8426	8432	8439	8445	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	6
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	6
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	6
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	6
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	6
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	6
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	6
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	6
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	5
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	5
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	5
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	5
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	5
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	5
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	5
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	5
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	5
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	5
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	4
99	9956	9961	9965	9969	9973	9978	9983	9987	9991	9996	4
100	0000	0003	0007	0130	0173	0217	0260	0303	0346	0389	43
101	0432	0475	0518	0561	0604	0647	0689	0731	0774	0817	43
102	0860	0903	0945	0988	1030	1072	1115	1157	1200	1242	42
103	01284	1176	1228	1276	1322	1369	1415	1461	1507	1552	42
104	01703	1749	1787	1828	1870	1912	1953	1995	2036	2078	42
105	02119	2169	2202	2243	2284	2325	2366	2407	2449	2490	41
106	02531	2572	2613	2653	2694	2735	2776	2816	2857	2898	41
107	02938	2979	3019	3060	3100	3141	3181	3222	3263	3303	40
108	03342	3383	3423	3463	3503	3543	3583	3623	3663	3703	40
109	03743	3782	3822	3862	3902	3941	3981	4021	4060	4100	40
110	04149	4179	4218	4258	4297	4336	4376	4415	4454	4493	39
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff

31. Тригонометрическія числа

	Sinus	Tangens	Cotangens	Cosinus	
↓ 0	0.0000	0.0000	∞	1.0000	90 ↑
1	0.0175	0.0175	57.29	0.9918	89
2	0.0349	0.0349	28.64	0.9944	88
3	0.0523	0.0523	19.08	0.9986	87
4	0.0698	0.0699	14.30	0.9976	86
5	0.0872	0.0875	11.43	0.9962	85
6	0.1045	0.1051	10.514	0.9945	84
7	0.1219	0.1228	8.144	0.9925	83
8	0.1392	0.1405	7.115	0.9903	82
9	0.1564	0.1584	6.314	0.9877	81
10	0.1736	0.1764	5.671	0.9848	80
11	0.1908	0.1941	5.146	0.9816	79
12	0.2079	0.2126	4.705	0.9781	78
13	0.2250	0.2309	4.331	0.9744	77
14	0.2420	0.2493	4.011	0.9703	76
15	0.2588	0.2679	3.732	0.9659	75
16	0.2756	0.2807	3.487	0.9613	74
17	0.2924	0.3057	3.271	0.9565	73
18	0.3090	0.3249	3.078	0.9515	72
19	0.3256	0.3443	2.904	0.9465	71
20	0.3420	0.3640	2.747	0.9417	70
21	0.3584	0.3849	2.605	0.9366	69
22	0.3746	0.4046	2.475	0.9312	68
23	0.3907	0.4245	2.356	0.9256	67
24	0.4067	0.4452	2.246	0.9198	66
25	0.4226	0.4664	2.145	0.9138	65
26	0.4384	0.4877	2.050	0.9078	64
27	0.4540	0.5095	1.963	0.9016	63
28	0.4695	0.5317	1.881	0.8952	62
29	0.4848	0.5543	1.804	0.8886	61
30	0.5000	0.5774	1.732	0.8819	60
31	0.5150	0.6009	1.664	0.8752	59
32	0.5299	0.6249	1.600	0.8683	58
33	0.5446	0.6494	1.540	0.8612	57
34	0.5592	0.6743	1.483	0.8540	56
35	0.5736	0.7002	1.428	0.8466	55
36	0.5878	0.7265	1.376	0.8390	54
37	0.6018	0.7536	1.327	0.8312	53
38	0.6157	0.7813	1.280	0.8232	52
39	0.6293	0.8098	1.235	0.8151	51
40	0.6428	0.8391	1.192	0.8068	50
41	0.6561	0.8693	1.150	0.7983	49
42	0.6691	0.9004	1.111	0.7896	48
43	0.6820	0.9325	1.072	0.7807	47
44	0.6947	0.9657	1.036	0.7716	46
↓ 45	0.7071	1.0000	1.000	0.7071	45 ↑
	Cosinus	Cotangens	Tangens	Sinus	

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

(Римскими цифрами обозначены таблицы)

- Аббе (Abbe) 153
 Аберрация хроматическая 164
 Абсолютная влажность, гир. 115
 " мѣра 5
 " температура 56
 Авогадро (Avogadro) законъ 58
 Азимуть, астр. 80
 Аккумуляторъ 202, 203
 Амальгамированіе 201
 Амперъ, эл. 17, 199, 205
 Амперметръ см. измѣритель тока
 Анализаторъ, опт. 171
 Анероидъ 92
 Ареометръ 49; Никольсона (Nicholson) 52
 Астазированіе, магн. 208
 Астигматизмъ, опт. 167
 Астрономическія таблицы XXVI, XXVII, XXVIII
 Атомные вѣса XXIV
 Атомный объемъ 45
 " теплота 119
 Барометръ 90 и слѣд., VIII
 Барометрическая высота 90, IX
 " измѣреніе высоты 92, IX
 Бекманъ (Beckmann) 95, 112 115
 Бикварцъ, опт. 179
 Бифилярное наматываніе, эл. 204
 Біенія, акуст. 136
 Бю (Blot) 176
 Бойля-Мариотта (Boyle-Mariotte) законъ 56
 Болومترъ 107
 Боска (Bosscha) 241
 Британской Ассоціаціи единица, эл. 199
 Бродхунъ (Brodhun) 185
 Бунзена (Bunsen) элементъ 202
 Бунзена-Кирхгофа шкала, опт. 156, XVIII, XIX
 Буссоля, геодез. 197
 Варіаціи земн. магнитизма 192
 Барометръ переносный, магн. 193
 „Ваттъ“ (Watt) 20
 Веберъ (Weber) 16, 199, 205
 „Веберъ“, эл. 205
 Вестона (Weston) элементъ 203
 " указатель тока 212
 Звѣшникваніе, двойное 40
 " поправки 40 и слѣд., I
 Вильдъ (Wild) 179
 Витстона (Wheatstone) мость 201, 226, 234
 Влажность 115
 Вода, внутреннее треніе 140
 " плотность пара 115, XIII
 " разложеніе, эл. 214
 " расширеніе IV, V
 " температура кипѣнія XIV
 " упругость пара 116, XIII, XIV
 " электропроводность 236
 Водный эквивалентъ, тепл. 119, 121
 Водородный спектръ 148
 Воздухъ, давленіе 90
 " плотность 56, II, VI, VII
 Воздушный термометръ 104
 Волластонъ (Wollaston) 149
 Волны на поверхности жидкости 139
 Вольтметръ 214 и слѣд., 221
 Вольтметръ см. измѣритель напряженія
 Вольтъ 18, 199
 Волюмометръ 56

- Воспримчивость, магн. 16
 Вращательная способность, опт. 176
 и слѣд., XIX
 Время, истинное и среднее 43
 • определѣніе 83
 Высота, астр. 83
 • барометра 90, IX
 • поднятія, калил. 134
 • полюса 83, XXV
 • тона 130, 135, XVII
 Выставляющийся столбикъ, терм. 90
 Вытѣсненіе воздуха 62
 Вѣроятныя ошибки 21 и слѣд.
 Вѣсъ и масса 7
 Вѣсы 43 и слѣд.
 • пружинныя 52
 • электродинамическія 211
 Вязкость 140; воды 140

 Газовый термометръ 99, 104
 Газы 56
 • объёмъ 56, VII
 • отношеніе теплоемкостей 135
 • плотность 64 и слѣд., II, VII
 Гальваническій см. электричество
 Гальванометръ 205 и слѣд.
 • баллистическій 210, 249
 • съ вращ. катушкой 209
 • крутильный 246; универсальный 245
 Гальванометръ, переводный множитель 220
 Гальванометръ, сопротивленіе 239
 Гамма 131
 Гаусса-Вебера единицы 7
 „Гауссъ“ (Gauss), магн. 14, 148
 Гейслера (Geissler) трубки 158
 „Генри“ (Henry) 19, 250
 Геодезическая буссоль 197
 Географическая таблица XXV
 • широта 83
 Гейнера (Hefner) свѣча 183
 Гигрометрія 115, XIII
 Гидрометръ 49
 Гипсометрія 94, XIV
 Главная плоскость, точка, опт. 166
 Главное съченіе, опт. 174
 Глиняные сосуды 201
 Гнутіе, упруг. 131
 Гоніометръ 143, 149
 Горизонтальная составляющая, магн. 188, XXIII
 Гофманъ (Hofmann) 61
 Граммъ 7
 Граммъ-молекула 32, 45, 59
 Графическое представленіе 30
 Гэ-Люссака (Gay-Lussac) законъ 56

 Давленіе 9, 89
 • воздуха 90
 Даниэля (Daniell) элементъ 202
 Двойное взвѣшиваніе 40
 • преломленіе, опт. 171, 172
 и слѣд.
 Декрементъ логарифмическій 75, 249
 Депрессія нулевой точки 94
 „Джауль“ (Joule), эл. 10, 20, 119
 Дилатометръ 110
 Дина 9
 Динамомашинны, эл. 203, 247
 Динамометръ, эл. 210, 211
 Дисперсія, величина дисперсін, опт. 149, 153
 Дисперсія при вращеніи, опт. 177
 Диссоціація, 59, 112, 232
 Дифференціальный гальванометръ 225
 Дифференціальный индукторъ 237
 Диффракція, опт. 159
 Диоптрія 163
 Диэлектрическая постоянная 252, 254
 Длина волны, акуст. 130, 133 и слѣд.; опт. 149, 158; измѣреніе 159, XIX
 Дополнительные цвѣта 173
 Дюбуа-Реймонъ (du Bois-Reymond) 242
 Дюма (Dumas) 59

 Единица Сименса, эл. 199, 243
 Единицы абсолютныя 5
 • Вебера 16

- Единицы электрическія 11-20, 199
 Емкость конденсатора 252
 • электролитическая 233
 • электромагнитная 18
 • электростатическая 13
- Жоли (Jolly) вѣсы 52
- Затуханіе 75, 249, 250
 Звѣздное время, сутки 85, XXVI
 Земной индукторъ 255
 • магнетизмъ 188, XXIII; см. вариация, наклоненіе, напряженіе, поле, склоненіе
 Зенитъ, зенитная точка 81
 Зеркало и шкала 72
 • радиусъ кривизны 161
 Зеркальный гальванометръ 208
 Зрительная труба, увеличеніе 168
 • „ установка 72, 144
- Измѣренія, общія указанія 20
 Измѣритель напряженія, эл. 242
 • тока, эл. 212
 Инвертированный сахаръ 192
 Индукторъ дифференціальный 237
 • земной 255
 • универсальный 237
 Индукціонный приборъ 233
 Инерція 11, 78
 Интервалы, акуст. 181
 Интерполированіе 29, 30, 35, 223
 Интерференціонный спектръ 159
 • полосы 69, 163, 179
 Интерференція звука 136
 Искровые спектры 158
 Истеченіе, время истеченія 24, 65
- Ионы, подвижность, эл. 238, XXII
- Кадмевый элементъ 203
 Калиброваніе проволоки и реостата 230
 Калиброваніе термометра 100 и слѣд
 • трубки 71, 72
 Калильные лампы, эл. 224, 248
- Калориметръ 118
 • ледяной 110, 124
 Калорія 118
 Камертонъ 135
 Капиллярная депрессія 89, X
 • постоянная 138
 • трубка 71, 138
 Капиллярный электрометръ 261
 Капли 140
 Катетометръ 69
 Катушка, магн. 17, 257
 Квадрантное соединеніе 260
 Квадрантный электрометръ 260
 „Квадрантъ“, эл. 19, 259
 Кварцъ, опт. 172, 177, 179, XIX
 Квинке (Quinke) 133, 257
 Кирхгофа (Kirchhoff) законы, эл. 200
 Кислородъ, содержаніе въ воздухѣ 57
 Кларка (Clark) элементъ 202
 Количество теплоты 10, 118
 • электричества 11, 17, 240, 252
 Коллиimatorъ, опт. 143
 Коллимаціонная ошибка 91
 Кольераушъ (Kohlransch) 152
 Коммутаторъ, эл. 203, 207, 226, 237
 Компенсаторъ, опт. 177, 181
 Компенсация, 217, 241, 243, 245
 Конденсаторъ, эл. 252
 Концентрація раствора 31
 • эквивалентная 238
 Коэффициентъ абсорбціи, опт. 187
 • индукціи, эл. 18, 258
 • крученія, магн. 190
 • расширенія 108 и слѣд.,
 Xi, XII
 Коэффициентъ самоиндукціи, эл. 254
 • тренія 140 и слѣд.
 Кристаллъ, измѣреніе угловъ 149
 • одно- и двусный 174 и слѣд.
 • показатель преломленія 153
 Кругъ раздѣльный 80, 144
 Крутильный гальванометръ 246
 • кругъ 197
 „Кулонъ“ (Coulomb), эл. 17, 252
 Кульминація, астр. 81, 83

- Ледъ, теплота плавленія 127
 „Ледяной калориметръ 119, 124
 Линза 163 и слѣд.
 „ разстояніе изображенія 161, 166
 Липпманъ (Lippmann) 261
 Логарифмы XXX
 Логарифмическій декрементъ 75, 249
 Лошадиная сила 10, 20
 Луммеръ (Lummer) 185
 Луна 167
 Люксъ (Lux) 184
 Магнетизмъ 184
 „ свободный 13, удѣльный 196.
 см. также затуханіе, индукція, кру-
 ченіе, моментъ, періодъ колебанія
 и т. д.
 Магнитный полюсъ 13, 184
 Магнитометръ 192
 „Максвелль“ (Maxwell), эл. 16
 Манометръ 89
 Масса и вѣсъ 7
 Масштабъ 67
 Маятникъ 46
 Мега-, микро- 8
 Мейеръ В. (Meyer V.) 62
 Менискъ 70, 72, 89
 Меридіанъ, опредѣленіе 81
 Меридіанальная поправка 82
 Методъ плаванія 53
 „ совпаденія 87
 Метръ-свѣча 144
 Микронъ (μ) 159
 Микроскопъ, измѣреніе длины 67
 „ увеличеніе и проч. 169
 Микрофарадъ, эл. 18, 252
 Митчерлихъ (Mitscherlich) 177 и слѣд.
 Модуль крученія 132
 „ растяженія, упругости 11, 128
 и слѣд., XVI
 Молекулярная концентрація 32, 111,
 114
 Молекулярная теплота 119
 „ вращеніе, опт. 177
 „ вѣсъ 58, 66, 111, 114
 „ объемъ 45, 58
 „Моль“ 32, 45, 59
 Моментъ, магн. 13, 195
 „ вращенія 10
 „ инерціи 11, 76
 „ тока, эл. 17
 Монохордъ 136
 Мора (Mohr) вѣсы 48
 Мостъ, эл. 201, 226 и слѣд., 234,
 245
 Мостъ Витстона 201, 226, 234
 Мощность 10; эл. 20, 211, 248, 258
 Мультипликаторъ, радусъ 206
 Мультипликаціонный методъ 254
 Наборъ разновѣсокъ 42
 Наклоненіе, магн. 197, 255, XXIII
 Намагниченіе 16, 196
 Направляющая сила 10
 Напряженіе земного магнетизма 188
 и слѣд., 249, XXIII
 Напряженіе на клеммахъ, эл. 209,
 244
 Напряженіе см. потенциалъ, электро-
 движущая сила
 Натріева линія, опт. 144
 Николь, опт. 171 и слѣд.
 Нитяный крестъ, освѣщаемый 144
 Нониусъ 67
 Нормальные растворы 32, 238, III
 „ элементы, эл. 202
 Ньютоновы (Newton) кольца, опт. 160
 Обратный маятникъ 88
 Объемъ, измѣреніе 69
 „ удѣльный воды V
 „ „ ртути 72
 Окулярный микроскопъ 67
 Ома (Ohm) законы 199
 „Омъ“ 19, 199; легальный 199
 Оси, опт. 173 и слѣд.
 Основное положеніе, магн. 13, 189
 Остаточный зарядъ, эл. 252
 Ось вращенія, нивелировка 40
 Отвѣтвленіе, эл. 203, 213, 223, 224
 Относительная влажность, гигр. 115
 Отношеніе теплоемкостей 135

- Отражательный гониометръ 149
 Отчетъ на шкалѣ 72
 „ по кругу 80, 144
 Офтальмометръ 162
 Ошибки, вычисленіе ихъ 21 и слѣд
 „ наблюденій 21, 23
- Параллаксъ 67
 Паръ, плотность 58 и слѣд.
 Переводный множитель гальванометра 205, 220; баллистич. 249
 Переключатель, эл. 203, 206
 Переменные токи 211, 233
 Періодъ колебаній 11, 76, 87
 „ „ приведеніе къ малымъ колебаніямъ 78, XV
 Пикнометръ 46, 50
 Пипетка 46, 69
 Пирометръ 100
 Пластика въ четверть волны, опт. 174
 Плоскопараллельныя стекла 163; показатель преломленія 150
 Плотность 45 и слѣд., II, III
 „ воды IV, V
 „ паровъ и газовъ 58 и слѣд., II, VI, VII
 Плотность ртути 72, II
 Поверхностная яркость 164
 Поверхностныя волны 139
 Погружающіеся вѣсы 49
 Подвижность іоновъ, эл. 234, XXII
 Показатель преломленія, опт. 143 и слѣд., 150, 151, XIX
 Показатель преломленія жидкостей 143, 153
 Показатель преломленія кристалловъ 152
 Полдень истинный или видимый 93
 Поле зрѣнія, опт. 169
 „ эл. 12; магн. 14, 184, 256
 Положеніе равновѣсія изъ колебаній 74
 Полосы интерференціи 69, 163, 179
 Полуденная поправка, астр. 84
 Полутѣневой приборъ, опт. 180
 Полюсъ, магн. 13, 189
 Поляризаторъ, опт. 171
 Поляризационныя приборы, опт. 171, 176
 Поляризационныя фотометры 186
 Поляризація, эл. 233; опт. 170 и слѣд.
 Поляриметръ, опт. 177
 Полярископометръ 179
 Поперечное сѣченіе, опредѣленіе площади 71, 129; радіуса 139
 Поправки 27
 Потенціалъ, эл. 12, 17, 240 и слѣд., 260
 Потокъ индукціи 16
 Предѣльный уголъ при полномъ отраженіи 151
 Преломляющій уголъ, опт. 143, 145
 Прерыватель, эл. 233
 Приближенныя формулы 27
 Призма, опт. 143 и слѣд.
 „ Николя (Nicol) 171 и слѣд
 „ положеніе наименьшаго отклоненія 140
 Прогибъ, упруг. 131
 Продольныя колебанія 130
 Производныя единицы 7
 Проницаемость, магн. 15.
 Пружинныя вѣсы 52
 Психрометръ 117
 Пуазель (Poiseuille) 140, 141
 Пулье (Pouillet) 205, 207
 Пульфрихъ (Pulfrich) 154
 Пыльныя фигуры 133
- Работа 10; эл. 20, 244, 254
 Равноплечность вѣсовъ 34, 34 и слѣд.
 Радіусъ кривизны 160 и слѣд.
 Разложеніе, эл. 232
 Размѣрности единицъ 7
 Разновѣски, наборъ 42
 Разстояніе полюсовъ магнита 184
 Разсѣяніе, опт. 167.
 Растворы 31
 „ точки отвердѣванія и кипѣнія 111, 114

- Растворы, удѣльный вѣсъ III
 „ электропроводность 232, XXI
 Расширеніе, кубическое 108, 109, XII
 „ воды IV, V
 „ газовъ 56, 106, VI, VII
 „ ртути 72
 Реньо (Regnault) 116
 Реостатъ 204; калиброваніе 290
 Рефлектометръ, опт. 152
 Рефрактометръ, опт. 153 и слѣд.
 Рефракція, астр. 83, XXVIII
 Ртуть, чистка 71
 „ см. также капилляр-, плотность, расширеніе, термометръ, упругость паровъ
 Рѣшетка, опт. 159
 Самоиндукція, коэффициентъ 258
 Сахариметръ 177 и слѣд.
 Сахаръ, вращательная способность, опт. 176 и слѣд.
 Свѣтъ, единицы 183
 „ см. интерференція, преломленіе и т. д.
 Секундный маятникъ 86
 Сила 9, живая сила 10
 Силовые линіи, эл. 12, магн. 15
 Сильные токи, сопротивленіе 205
 Сименса (Siemens) единица, эл. 199, 233
 Синусъ-буссоль, эл. 207, 245
 Склоненіе, магн. 192, 197, XXIII
 „ солнца XXVI
 Скользящее вхожденіе, опт. 147, 154
 Скорость звука 133, XVI
 Слюдавая пластинка, опт. 174
 Собирательная линза 164
 Солейль (Soleil) 180 и слѣд.
 Соленоидъ см. катушка
 Солнечное время 83
 Солнце 81, 82
 Сопротивленіе разрыву XVI
 Сопротивленіе, эл. 19, 199
 „ единицы 19, 199
 „ сосуды для измѣренія 234
 Сопротивленіе удѣльное 19, 200, XX, XXI; опредѣленіе абсолютное 258;
 большого сопротивленія 234.
 малого сопротивленія 223, 225, 228, 229;
 сопротивленія гальванич. элементовъ 238, гальванометра 249, электролитовъ 232 и слѣд.; посредствомъ переменныхъ токовъ 234,
 универсальнымъ гальванометромъ 245;
 электрометромъ 262;
 Спектральный анализъ 154 и слѣд., XVIII, XIX
 Спектрометръ 143
 Спектрофотометръ 187
 Спектръ 148, XVIII, XIX
 „ дифракционный 159
 „ паровъ 157, электрическій 158
 Спектры металловъ 158
 „ поглощенія 155
 Способъ смѣшенія, тепл. 114
 Средняя ошибка 21 и слѣд.
 Стеклянная пластинка, изслѣдованіе 183
 Стеклянная трубка, діаметръ 71, 139
 Степень насыщенія, гигр. 115
 „ полезнаго дѣйствія, эл. 248
 Сухіе элементы 202
 Сферометръ 68, 160
 Таблицы высотъ IX, XXV
 Тангенсъ-буссоль 205
 Тарирная склянки 46, 50
 Тарированіе, взвѣшиваніе 40
 Телефонъ 234, 258
 Температура 95 и слѣд., 104, 106
 „ измѣреніе 96, 104; электрическое 106
 Температурный коэффициентъ электропроводности 204, 238, XX, XXI
 Теодолитъ 80
 Теплопроводность XI

- Теплота абсорбции газа 126
 „ испарения 127
 „ плавления 126; льда 124
 „ удельная 118 и слѣд., 123
 и слѣд., XI, XII
 Термическое расширение 108 и слѣд.,
 XI, XII
 Термометръ 95 и слѣд.; точка та-
 яния льда, точка кипѣнія 97 и
 слѣд.
 Термометръ, газовый 99, 104
 „ калибровка 100
 и слѣд.
 Термометръ, сравненіе 103
 Термохимическія измѣренія 126
 Термозлементъ 106
 Токи, эл. 199 и слѣд.
 „ кратковременные 228, 249
 „ переменные 211, 233
 „ сильные 205, 213, 244
 Токъ, работа, мощность, эл. 20, 211
 „ единица 13, 16
 „ измѣреніе 205 и слѣд., 244
 и слѣд.
 Токъ, измѣритель 212; испытаніе 220
 „ переключатель 203, 206
 „ развѣтвленіе 200
 „ сила 13, 16
 „ теплота 20, 123, 205, 212, 258
 „ указатель 212; испытаніе 220
 Толщина, измѣреніе 64, 129
 Томсонъ В. (Thomson W.) 260
 Тонъ, высота 130, 135, XVII
 „ интервалы 131
 Точка кипѣнія 113, XII; термометра 97
 „ „ воды 97, XIV
 Точка отвердѣванія 111, 112
 „ плавленія 107, 111
 „ росы 118
 „ таянія льда, терм. 96
 Трансформаторы, эл. 258
 Тригонометрическая таблица XXXI
 Труба зрительная, увеличеніе 166
 „ „ установка 72, 144
 Турмалиновые пластинки, опт. 172
 Тѣневой фотометръ 184
 Тяжесть 86
 Увеличеніе, опт. 167
 Уголь, абсолютная мѣра 9;
 измѣреніе угловъ 90, 143, 149
 „ „ буссолю 197
 „ „ зеркаломъ и шкалой 72
 Уголь отклоненія 146
 „ полной поляризации, опт. 170
 Удельный вѣсъ, масса см. плотность
 „ магнетизмъ 196
 „ объемъ 45
 „ сопротивленіе 200
 „ теплота 118 и слѣд., XI
 XII
 Универсальный гальванометръ 245
 „ индукторъ 237
 Упругость водяныхъ паровъ 116,
 XIII, XIV
 Упругость ртутныхъ паровъ 62
 Уравненіе времени, астр. 83, XXVI
 Ускореніе 9
 „ силы тяжести 86
 Фарадея (Faraday) законъ, эл. 214
 „Фарадъ“, эл. 18, 253
 Фокусное разстояніе 163 и слѣд.
 Фотометрія 183 и слѣд.
 Фраунгоферовы (Fraunhofer) линіи
 148, XIX
 Хроматическая aberrация 164
 Цвѣтъ 144
 Центрировка линзы 164
 Часы, ходъ 85
 Число колебаній, акуст. 135;
 опт. 154
 Числовые выкладки 30
 Чувствительная окраска 179
 Широта географическая 83, XXV
 Эвдиометръ 57
 Эквивалентная концентрація 238

Эквивалентная электропроводность 234	Электролитъ, электропроводность 232, XXI
Эквивалентъ теплоты 10	Электрометръ 260 и слѣд.
• электрохимическій 214	Электропроводность 19, 199, 232, XX, XXI
Электрическія лампы 224, 248	Электростатическія, электромагнитныя единицы 11, 16
Электричество см. вѣсы, динамометръ, емкость, индукція, квадратъ, Кирхгофъ, напряженіе, поле, потенциалъ, работа, сопротивление, токъ, эквивалентъ, электропроводность, элементы и т. д.	Электрохимическій эквивалентъ 214
Электродвижущая сила 17, 199, 200, 240 и слѣд., 262	Элементы, гальван. 202, сухіе 202; сопротивленіе 238
Электродинамическіе вѣсы 211	Эллиптическая поляризація, опт. 170
Электролитическая емкость 233	Энергія 10, эл. 20
Электролитическій законъ 214	Эргъ 10
	Эффективная сила тока 211
	Яркость поверхностная 184

Замѣченныя опечатки

Стран.	Строка	Напечатано	Слѣдуетъ
80	5 сл.	Горизонтальная ось.	2. Горизонтальная ось.
104	7 „	Жолли	Жоли
110	11 .	Методъ вытѣсненія.	2. Методъ вытѣсненія.

Кромѣ того слѣдуетъ выбросить строку 7 сверху стр. 88



ЧИСТАЯ И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

АДЛЕРЪ, А. Теорія геометрическихъ построеній. Переводъ съ нѣмецкаго подъ ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго* XXIV+325 стр. 8^о. Съ 177 рис. 1910. Ц. 2 р. 25 к.

Предлагаемая вниманию читателей книга А. Адлера представляетъ крупнѣйш. и интересъ во многихъ отношеніяхъ. *Педагогическій Сборникъ*

АППЕЛЬ, П. проф. и **ДОТЕВИЛЬ, С.** проф. Курсъ теоретической механики. Введеніе въ изученіе физики и прикладной механики Пер. съ фр. 1. Левигоза подъ ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго*

Вып. 1 (механика точки и геометрія массъ) XV+385 стр. 8^о. Съ 136 черт. 1912 Ц. 2 р. 50 к.

Вып. II (механика системы) XV+359 стр. 8^о. Съ 87 черт. 1912 Ц. 2 р. 50 к.

Книга по механике и въ ней мы сразу соотнѣсимъ съ универсальному курсу теоретической механики и представимъ собой сам. истинн. переделку общаго трезвонимаго трактата П. Аппеля по теоретической механике.

АРХИМЕДЪ, ГЮЙГЕНСЪ, ЛЕЖАНДРЪ, ЛАМБЕРТЪ О квадратурѣ круга. Съ приложеніемъ исторіи вопроса, составилъ проф. Ф. РУЛО (*Библио. класс.*). Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *С. Бернштейна*. VIII+155 стр. 8^о. Съ 21 черт. 1911. Ц. 1 р. 20 к.

.. является одна изъ не единственная, столь полно разсматривающей задачу о квадратурѣ круга. *Природа и Люди*

БОЛЬЦАНО, Б. Парадоксы безконечнаго. (*Библио. класс.*) Перев. съ нѣм. подъ ред. проф. *И. В. Слешинскаго* VII+120 стр. 8^о. Съ 12 черт. 1911. Ц. 80 к.

Гр. представляетъ собой одинъ изъ первыхъ попытокъ строго математическаго обоснованія понятія о безконечности и его разнообразности. *Педагогическій Сборникъ*

БОРЕЛЬ, Э. проф. Элементарная математика. Въ обработкѣ проф. *В. Штекеля* Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ дополненіями прив.-доц. *В. Ф. Кагана*.

Ч. I Арифметика и Алгебра LXIV+131 стр. 8^о 1911. Ц. 3 р.

Ч. II Геометрія VIII+332 стр. 8^о Съ 403 черт. 1912. Ц. 2 р.

Первое сочиненіе Бореля является однимъ изъ нашихъ элементарную математическую литературу. *Педагогическій Сборникъ*

WEBER H. проф. и **WELLSTEIN J.** проф. Энциклопедія элементарной математики. Руководство для преподающихъ и изучающихъ элементарную математику Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. *В. Кагана*.

Томъ I. Элементарная алгебра и анализъ,* обработ. проф. *Веберомъ* XXIV+666 стр. больш. 8^о Съ 38 черт. 2-е изд. 1911 г. Ц. 4 р.

Вы все время видите передъ собой мастера своего дѣла, который съ любовью показывать пѣху и творенія человѣческой мысли, извѣстныя ему до тончайшихъ подробностей. *Педагогическій Сборникъ*

Томъ II. Элементарная геометрія, составленная *Веберомъ, Вельштейномъ и Якобста гомъ*.

Книга I Основанія геометріи.* Состав *И. Вельштейнъ*. XII+360, стр. больш. 8^о. Съ 142 черт. и 5 рис. Изд. 2-е. 1913. Ц. 3 р.

Особый интересъ представляетъ въ книгѣ г. Вельштейна своеобразное изложеніе не евклидовой геометріи а также изложеніе проективной геометріи. *Жур. Мин. В. Пр.*

* Изданія, отмѣченныя звездочкой, признаны Учен. Ком. Мин. Нар. Пров. подлежащими внесению въ списки книгъ, заслуживающихъ вниманія при пополненіи ученическихъ библиотекъ средн. учебн. заведеній.

Книга II и III. Тригонометрія, аналитическая геометрія и стереометрія. Составили Г. Веберъ и В. Якобсталь VIII+321 стр. больш. 8°. Съ 109 черт. 1910. Ц. 2 р. 50 к.

ГЕЙБЕРГЪ, I. проф. Новое сочиненіе Архимеда*. Посланіе Архимеда къ Эратосмену о нѣкоторыхъ вопросахъ механики (Библ. класс.) Перев. съ нѣм. подъ ред. и съ предисл. прив.-доц. Н. Ю. Тимченко. XV+27 стр. 8°. Съ 15 рис. 1909. Ц. 40 к.

Математикамъ будетъ весьма интересно познакомиться съ новой драгоцѣнной научной находкой *Образованіе*.

ДЕДЕКИНДЪ, Р. проф. Непрерывность и ирраціональныя числа.* (Библ. класс.). Пер. съ нѣм. прив.-доц. С. О. Шатуновскаго, съ присоед. его статьи: „Доказательство существованія трансцендентныхъ чиселъ“. 2-е изд. 40 стр. 8°. 1909. Ц. 40 к.

Небольшой по объему, но, такъ сказать, законодательный по содержанию трудъ... *Русская Школа*.

ДЗЮБЕКЪ, О. проф. Курсъ аналитической геометріи. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ примѣч. проф. СПб. высш. женск. курсовъ Влры Шиффа. Часть I. Аналитическая геометрія на плоскости. VI.1+390 стр. 8°. Съ 87 черт. 1912. Ц. 2 р. 50 к.

Часть II. Аналитическая геометрія въ пространствѣ. VIII+356 стр. 8°. 36 черт. 1912. Ц. 2 р. 50 к.

Много задачъ, много упражненій бездна матеріала и—научность изложенія *Технич. и Коммерч. Образованіе*.

КАГАНЪ, В. прив.-доц. Задача обоснованія геометріи въ современной постановкѣ. Рѣчь, произнесенная при защитѣ диссертации на степень магистра чистой математики. 35 стр. 8°. Съ 11 черт. 1908. Ц. 35 к.

КАГАНЪ, В. прив.-доц. О преобразованіи многогранниковъ. Докладъ, прочитанный въ Общемъ Собраніи Перваго Всероссийскаго Съѣзда преподавателей математики 27 стр. 8°. Съ 10 фиг. 1913. Ц. 35 к.

КАГАНЪ, В. прив.-доц. Что такое алгебра? * 72 стр. 16°. 1910. Ц. 40 к.
Книжка написана яснымъ простымъ языкомъ и, несомнѣнно, вызоветъ къ себѣ интересъ. *Русская Мысль*.

КЛЕЙНЪ, Ф. проф. Вопросы элементарной и высшей математики. Лекція, читанная для учителей. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ дополн. прив.-доц. В. Ф. Кагана. VIII+480 стр. 8°. 1912. Ц. 3 р.
Книга, подобная труду Клейна, должны быть настоящими, ели появяются рѣдко *Технич. и Коммерч. Образованіе*.

КОВАЛЕВСКИЙ, Г. проф. Введеніе въ исчисленіе безконечно-малыхъ.* Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. С. О. Шатуновскаго. VIII+140 стр. 8°. Съ 18 черт. 1909. Ц. 1 р.

Книга проф. Ковалевскаго, несомнѣнно, прекрасное введеніе въ высшій анализъ. *Русская Школа*.

КОВАЛЕВСКИЙ, Г. проф. Основы дифференціального и интегрального исчисленій. Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. С. О. Шатуновскаго. VIII+496 стр. 8°. 1911. Ц. 3 р. 50 к.

Курсъ профессора болшаго университета, несомнѣнно, является однимъ изъ лучшихъ по ясности и чрезвычайной строгости обоснованія одного изъ могущественнѣйшихъ методовъ современнаго анализа. *Современный Миръ*.

КУТЮРА, Л. Алгебра логики. Пер. съ фр. съ прибавленіями проф. И. Слешинскаго. IV+107+XIII стр. 8°. 1909. Ц. 90 к.

КЭДЖОРИ, Ф. проф. Исторія элементарной математики (съ указаніями на методы преподаванія)*. Пер. съ англ. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. Н. Ю. Тимченко. VIII+368 стр. 8°. Съ рис. 1910. Ц. 2 р. 50 к.
Книга читается съ большимъ интересомъ и весьма полезна. Мы настоятельно рекомендуемъ „Исторію элем. мат.“ Кэджори *Вѣстникъ Воспитанія*.

ЛИЦМАННЪ, В. Теорема Пифагора съ приложеніемъ нѣкоторыхъ свѣдѣній о теоремѣ Ферма (Библ. элем. мат. I). Пер. съ нѣм. подъ общей ред. прив.-доц. С. О. Шатуновскаго. IV+80 стр. 16°. Съ 44 рис. 1912. Ц. 40 к.

- МАРКОВЪ, А. акад.** Исчисленіе конечныхъ разностей. Въ 2 частяхъ
Изданіе 2-е, исправленное и дополненное. VIII+274 стр. 8°. 1911 Ц. 2 р. 25 к
- НЕТТО, Е. проф.** Начата теоріи опредѣлителей. Перъ съ нѣмъ подъ ред
и съ примъ прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго*. VII+156 стр. 8°. 1912 Ц. 1 р. 20 к.
- ПУАНКАРЕ, Г. проф.** Наука и методъ. Пер. съ франц. *И. Брусиловскаго*
подъ ред. прив.-доц. *В. Каганца*. VIII+384 стр. 16°. 1910 Ц. 1 р. 50 к.
Книгу Пуанкаре можно рекомендовать особому вниманію преподавателей математики и естествознанія. *Вѣстникъ Воспитанія*
- РОУ, С.** Геометрическія упражненія съ кускомъ бумаги. Пер. съ англ.
XVI+173 стр. 16°. Съ 87 рис. 1910. Ц. 90 к.
Приводитъ впечатлѣніе гармоничнаго дѣлаго и читается съ большимъ интересомъ. *Русская Школа*.

Русская математическая библиографія. Списокъ сочиненія по чистой и прикладной математикѣ, напечатанныхъ въ Россіи. Подъ ред. проф. *Д. М. Синцова*.
Вып. I. За 1908 годъ. 76 стр. 8°. Ц. 60 коп.
Вып. II. За 1909 годъ. XV+92 стр. 8°. Ц. 75 к.

ФИЛИППОВЪ, А. О. Четыре арифметическія дѣйствія. Числа натуральныхъ. VIII+88 стр. 8°. 1912. Ц. 70 к.

ФУРРЕ, Е. Очеркъ исторіи элементарной геометріи. (*Библ. элем. мат. II*).
Перъ съ фр. подъ ред. прив.-доц. *С. Шатуновскаго*. 52 стр. 16°. Съ 5 рис. 1912 Ц. 50 к.

ФУРРЕ, Е. Геометрическіе головоломки и паралогизмы. (*Библ. элем. мат. III*). Перъ съ фр. подъ ред. прив.-доц. *С. Шатуновскаго*. 52 стр. 16°. Съ 83 рис. 1912 Ц. 30 к.

ЦИММЕРМАНЪ, В. проф. Объемъ шара, шарового сегмента и шарового слоя. 34 стр. 16°. Съ 6 черт. 1908. Ц. 25 к.

Распространеніе подобнаго рода элементарныхъ монографій среди учащихся весьма желательно. *Русская Школа*.

ЧЕЗАРО, Э. Элементарный учебникъ алгебраическаго анализа и исчисления безконечно малыхъ. Пер. съ нѣмъ. подъ ред. проф. *С.-П. Б.* универс. *К. А. Поссе*. Ч. I. XVIII+632 стр. 8°. Съ 26 черт. 1913. Ц. 5 р.

ШУБЕРТЪ, Г. проф. Математическія развлеченія и игры. Пер. съ нѣмъ. *1. Левинтова*, подъ ред., съ примъ и доб. *В. О. Ф. и Эл. Мат.* XIV+358 стр. 16°. Со мног. табл. 1911. Ц. 1 р. 40 к.

Неутомимая идейная издательская фирма „Матезисъ“ выпустила въ свѣтъ превосходный переводъ превосходной книги. *Русская Школа*.

Ф И З И К А

АВРАГАМЪ, Г. проф. Сборникъ элементарныхъ опытовъ по физикѣ. *

Пер. съ франц. подъ ред. проф. *Б. П. Вейнберга*.

Часть I. XVI+272 стр. 8°. Свыше 300 рис. 2-е изд. 1909. Ц. 1 р. 50 к.

Систематически составленный сводъ наиболее типичныхъ и поучительныхъ опытовъ. *Вѣстникъ и Библиотека Самообразованія*

Часть II. 434+LXXV стр. 8°. Свыше 400 рис. 2-е изд. 1910 г. Ц. 2 р. 75 к.

Мы надѣемся, что разбираемый трудъ станетъ настольной книгой каждой физической лабораторіи въ Россіи. *Русская Школа*

АУЭРБАХЪ, Ф. проф. Царица міра и ея тѣнь. * Общедост. изложеніе основ. ученія объ энергіи и энтропіи. Перъ съ нѣмъ. VIII+50 стр. 8°. 6-е изд. 1913. Ц. 40 к.

Слѣдуетъ признать брошюру Ауэрбаха чрезвычайно интересной. *Ж. М. Н. Пр.*

БРАУНЪ, Ф. проф. Мои работы по беспроволочной телеграфіи и по электрооптикѣ. Рѣчь, произн. по случаю полученія Нобелевской преміи, съ дополн. автора. Пер. съ рукоп. *Л. Мандельштама* и *Н. Папалекси*, со вступител. статьей пер. изд. XIV+92 стр. 16°. Съ 25 рис. и портр. авт. 1911. Ц. 70 к.

Проф. Браунъ излагаетъ свои работы, выдвигаясь въ исторіи и усовершенствованіи очень важныхъ для телеграфіи приборовъ. *Естествозн. и Географія*.

БРУНИ, К. проф. Твердые растворы *. Пер. съ итал. подъ ред. „Вѣсти
Оп. Физ. и Эл. Мат.“ 37 стр. 16. 1909 Ц. 25 к.

Въ сръшоры К. Бруни читатель найдетъ много цѣнныхъ свѣдѣній въ сферѣ а-
тросутихъ вопросовъ. *Физикъ-Любитель*

ВЕТГЭМЪ, В. проф. Современное развитіе физики *. Пер. съ англ. подъ
ред. проф. Б. П. Вейнберга и прир. доп. А. Р. Орбикскаго Съ Прилож. рѣчи
А. Бальфура Нѣсколько мыслей о новой теоріи вещества. VII+27 стр. 80.
Съ 5 порт. и 39 рис. 2-е изд. 1912. Ц. 2 р.

ри этотъ читателю дѣла тѣлительно заставляющую картину грандиозныхъ завое-
ваній чловѣческаго гения. *Современный Миръ*

ВЕЙНБЕРГЪ, Б. П. проф. Снѣгъ, иней, градъ, ледъ и ледники *.
IV+127 стр. 80. Съ 137 рис. и 2 фототип. таб. 1910 Ц. 1 р.
„Mathesis“ можетъ гордиться этимъ изданіемъ. *Ж. М. Н. Пр.*

ВИНЕРЪ, О. проф. О цвѣтной фотографіи и родственныхъ ей есте-
ственно-научныхъ вопросахъ *. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. Н. П. Ка-
стерника V+69 стр. 80. Съ 3 порт. таб. 1911. Ц. 60 к.

Все это дѣлаетъ книгу интереснѣе. Какъ бы ни было, желающимъ только ознако-
миться съ цѣлыми рядами фотографій такъ и не такъ, серьезно заинтересо-
ваннымъ этимъ вопросомъ. *Естествознаніе и Географія*

ГЕРНЕТЪ, В. А. Объ единствѣ вещества 46 стр. 160. Ц. 25 к.

ЗЕЕМАНЪ, П. проф. Происхожденіе цвѣтовъ спектра Съ прил. статьи
В. Ритца „Линейные спектры и строеніе атомовъ“ Пер. съ нѣм. 50 стр. 160.
Ц. 30 к.

Книжка принадлежащая перу одного изъ вѣстныхъ ученыхъ нашей эпохи.
Русская Мысль

КАЙЗЕРЪ Г. проф. Развитіе современной спектроскопіи *. Пер. съ
нѣм. подъ ред. „Вѣсти Оп. Ф. и Эл. М.“ 45 стр. 160 1910. Ц. 25 к.

Отлич. изъ лучшихъ обзоровъ. Онъ содержитъ не только видѣ, исторію от-
крытія спектрального анализа и дальнѣйшаго ея развитія до нашихъ дней.
Журн. Мин. В. Пр.

КЛОССОВСКІЙ, А. заслуж. проф. Основы метеорологіи. * XVI+527 стр.
больш. 80. Съ 199 рис. 2 цвѣтн. и 3 черн. таб. 1910 Ц. 4 р.
Честь и слава „Mathesis“ за изданіе этой прекрасной книги, которую можетъ гор-
диться русская наука. *Ж. М. Н. Пр.*

КЛОССОВСКІЙ А. заслуж. проф. Современное состояніе вопроса о
предсказаніи погоды. 52 стр. 80. Съ 4 черт. 1913 Ц. 40 к.

КЛОССОВСКІЙ А. заслуж. проф. Физическая жизнь нашей планеты на
основаніи современныхъ воззрѣній. * 46 стр. 80. 2-е изданіе, испр. и
дополн. 1908. Ц. 40 к.

Рѣдко можно встрѣтить изложеніе, въ которомъ въ такой степени соединены бы
высокая научная аргумента съ картинностью и увлекательностью рѣчи. *Педагоги-
ческий Сборникъ.*

КОНЪ, Э. проф. и ПУАНКАРЕ, Г., акад. Пространство и время съ
точки зрѣнія физики. Пер. подъ ред. „Вѣсти. Оп. Физ. и Эл. Мат.“.
81 стр. 160. Съ 11 рис. 1912. Ц. 40 к.

Авторы сдѣлали все возможное, чтобы разъяснить не специалисту сущность прин-
ципа относительности и новой механики. *Природа*

ЛАКУРЪ П. и АППЕЛЬ Я. Историческая физика. * Пер. съ нѣм. подъ
ред. „Вѣсти Оп. Физики и Эл. Мат.“. Въ 2хъ томѣхъ больш. формата 892
стр. Съ 799 рис. и 6 отд. цвѣтн. таб. 1908. Ц. 7 р. 50 к.

Нельзя не привѣтствовать этого интереснаго изданія. Книга читается легко, содер-
житъ весьма удачно подобранный матеріалъ и обильно снабжена хорошо выпол-
ненными рисунками. Переводъ никакихъ замѣчаній не вызываетъ. *Ж. М. Н. Пр.*

ЛИНДЕМАНЪ, Ф. проф. Спектръ и форма атомовъ. Рѣчь ректора Мюн-
хенскаго университета 23 стр. 160. 2-е изд. Ц. 15 к.

ЛОДЖЪ О., проф. Міровой эфиръ. Пер. съ англ. подъ ред. прив.-доп.
Д. Д. Хмырова. IV+216 стр. 160. Съ 12 рис. 1911 Ц. 80 к.

Въ этой чрезвычайно интересной книгѣ, проведенъ мысль, что „мировой эфиръ
есть непрерывное, нескончаемое, вѣднжжмое, основное вещество или совершен-
ная жидкость...“ *Природа*

ЛОРЕНЦЪ, Г. проф. Курсъ физики. * Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *Н. П. Кастигина*. Съ добрыми иллюстраціями къ русскому изданию. Т. I. VIII+356 стр. Сл. 8° Св. 2-е изд. 1912. Ц. 2 р. 75 к.
Т. II. VIII+466 стр. Сл. 8° Св. 2-е изд. 1912. Ц. 3 р. 75 к.
Съ неимѣнною ясностью и доступностью, русская литература обогатилась превосходнымъ курсомъ физики *Ж. М. И. Пр.*

МАЙКЕЛЬСОНЪ, А. проф. Свѣтотворныя волны и ихъ примѣненія. Перевела съ англ. *В. О. Хвольсона* подъ ред. проф. *О. Д. Хвольсона* съ дополненіями и примѣча. редактора. VIII+192 стр. Св. 108 рис. и 3 цвѣтн. табл. 1912. Ц. 1 р. 50 к.
Величайшая простота и конкретность мысли и живость изложенія *Журн. Р. Ф. Х. О-ва*

МИ, А. проф. Курсъ электричества и магнетизма. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *О. Д. Хвольсона*. Изд. 2-е, часть 1. 1912. 50 л. листовъ. Со многими рис. Выходитъ въ свѣтъ выпусками. Изд. 1-е, часть 1. 5 р.

МОЛЕНЪ, Ш. Физическія состоянія вещества. Пер. съ франц. подъ ред. проф. *Л. В. Писаржевскаго*. VIII+24 стр. 8° Св. 21 рис. 1912. Ц. 1 р. 40 к.

ПЕЛЛАН, Дж. проф. Вращающійся волчокъ. * Путь лекція. Съ дополненіями проф. *Б. Денана*. I. Св. 1-е изд. 1912. Ц. 1 р. 40 к.
Книжка послужитъ хорошимъ руководствомъ для изученія физики, но особенно только для учащихся, равно какъ и для преподавателей физики, изучающихъ этотъ предметъ. *Русская Школа.*

ПЛАНИКЪ, М. проф. Отношеніе новѣйшей физики къ механистическому мировоззрѣнію. Пер. съ нѣм. *И. Левинтова*, подъ ред. *В. Ст. Оп. Ф. и Э. М.* 42 стр. 16°. 1911. Ц. 25 к.

Понятно, разъясненіе терминовъ, указывающихъ, что эти методы удобны и универсальны. *Естественное и Географію*
ПОИНТИНЪ, Дж. проф. Давленіе свѣта. Пер. съ англ. подъ ред. *В. Ст. Оп. Физ. и Э. Мат.* 12 стр. 16°. Св. 42 рис. 1912. Ц. 20 к.

Наглядность изложенія теоретической стороны вопроса, иллюстрація его чертежами, таблицами и описаніями не повелевающей жизни, но стремящейся желать большего. *Природа*

РАМЗАЙ, В. проф. Благородные и радиоактивные газы. Пер. подъ ред. *В. Ст. Оп. Ф. и Э. М.* 37 стр. 16°. Св. 16 рис. 1909. Ц. 25 к.

РИГИ, А. проф. Современная теорія физическихъ явленій *. (Ионы, электроны, радиоактивность). Пер. съ 3-го итальянскаго изданія. VIII+146 стр. 8°. Св. 21 рис. 1910. 2-е изд. Ц. 90 к.
Эта книга можно смѣло рекомендовать образованному читателю, какъ лучшее издѣліе въ области физики, дающія взгляды на современную физическую теорію. *Педагогическій Сборникъ.*

РИГИ, А. проф. Электрическая природа матеріи *. (Историческая лекція). Пер. съ итальянскаго, подъ ред. *В. Ст. Оп. Ф. и Э. Мат.* 20 стр. 8°. 2-е изд. 1911. Ц. 30 к.

Эта прекрасная рѣчь обладаетъ всеми признаками истинно научнаго сочиненія. *В. Ст. Оп. Ф. и Э. М.*

СЛАБИ, А. проф. Безпроводный телефонъ. Пер. съ нѣм. подъ ред. *В. Ст. Оп. Физ. и Э. Мат.* 28 стр. 8°. Св. 14 рис. 1911. Ц. 20 к.

СЛАБИ, А. проф. Резонансъ и затуханіе электрическихъ колебаній. Пер. съ нѣм. подъ ред. *В. Ст. Оп. Физ. и Э. Мат.* 1-е изд. 1911. Ц. 40 к.
Объясненіе принциповъ работы телефона, какъ и другихъ устройствъ, основанныхъ на электрическихъ колебаніяхъ. *Педагогическій Сборникъ.*

СОДДІ, Ф. проф. Радиіи и его радиация. * Пер. съ англ. подъ ред. проф. *Д. Хвольсона*. VIII+112 стр. 8°. Св. 1911. Ц. 1 р. 25 к.
... авторъ въ увлекательномъ изложеніи изложилъ чистую и незамысловатую значимую область. *Ред.*

ТОМСОНЪ, Дж. Дж. проф. Корпускулярная теорія вещества. Пер. съ англ. *И. Левинтова*. VIII+112 стр. 8°. Св. 29 рис. 1910. Ц. 1 р. 25 к.
Второй томъ и второй выпускъ. *В. Ст. Оп. Ф. и Э. М.*

ТОМПСОНЪ, СИЛЬВАНУСЪ, проф. Добывание свѣта *. Общедоступная лекція для рабочихъ, прочитанная на собраніи Британской Ассоціаціи 1906. Пер. съ англ. V II+88 стр. 16^о Съ 28 рис. 1409 Ц. 50 к.
Въ этой весьма интересно составленной рѣчи собранъ богатый матеріалъ по вопросу добыванія свѣта. Ж. М. Н. Пр.

ФУРНЬЕ ДАЛЬБЪ. Два новыхъ міра. 1. Инфра-міръ 2. Супра-міръ. Пер. съ англ. VIII+119 стр. 8^о Съ 1 рис. и 1 табл. 1911. Ц. 80 к.
Богатая и интересная работа, она способна увлечь мыслящаго человѣка. Прав. Востн.

УСПѢХИ ФИЗИКИ. Сборникъ статей подъ ред. *Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики* *.

Выпускъ I * VIII+148 стр. 8^о Съ 11 рис. и 2 табл. 3-е изд. 1909 Ц. 75 к.
Понятно, изданный и недорогой сборникъ прочтется каждымъ интересующимся съ большимъ интересомъ. Вѣстникъ Физики.

Выпускъ II IV+204 стр. съ 50 рис. 1911. Ц. 1 р. 20 к.
Второй выпускъ сборника обладаетъ тѣми же положительными сторонами, что и первый, т. е. содержательностью, новизною изложенія и полной научностью статей. Природа

Х И М И Я.

ГРОТЪ, П. проф. Введеніе въ химическую кристаллографію. Пер. съ нѣм. I. Ленингова подъ ред. проф. М. Д. Сидоренко VIII+104 стр. 8^о Съ 6 черт. 1912. Ц. 80 к.

МАМЛОКЪ, Л. д-ръ. Стереохимія. Ученіе о пространственномъ расположеніи атомовъ въ молекулахъ. Пер. съ нѣмецк. подъ ред. проф. П. Г. Меликова. VIII+164 стр. 8^о Съ 58 рис. 1911 Ц. 1 р. 20 к.

Въ книгѣ описываются стереотипы и углеводы, азота, сахара, белковъ и неорганическихъ соединений. Естественныя и Географія.

ПЁШЛЬ, В. проф. Введеніе въ коллоидную химію. Очеркъ коллоидной химіи для учителей, врачей и студентовъ. Пер. съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Съ пред. проф. П. Г. Меликова VIII+86 стр. 8^о 1912. Ц. 75 к.

РАМЗАЙ, В. проф. Введеніе въ изученіе физической химіи. Пер. съ англ. подъ ред. проф. П. Г. Меликова. VII+76 стр. 16^о 1910. Ц. 40 к.

Главный интересъ обзора состоитъ въ томъ, что онъ является крупнымъ самостоятельнымъ изслѣдованіемъ въ этой области. Педагогическій Сборникъ

СМИТЪ, А. проф. Введеніе въ неорганическую химію. Пер. съ англ. подъ ред. проф. П. Г. Меликова XVI+810 стр. 8^о Съ 107 рис. 1911. Ц. 3 р. 50 к.

Такая первоклассная учебная книга въ области химіи, что, введеніе въ неорганическую химію. Смитъ обладаетъ необычайную литературную и въ ряду многочисленныхъ руководствъ по химіи занимаетъ особое значительное мѣсто. Ривъ

Успѣхи химіи. Сборникъ статей о важнѣйшихъ изслѣдованіяхъ послѣдняго времени въ общедоступномъ изложеніи подъ ред. *Вѣстн. Оп. Физ. и Элем. Мат.* * Вып. I VIII+240 стр. 8^о Съ 83 рис. 1912 г. Ц. 1 р. 50 к.

ЦЕНТНЕРШВЕРЪ, М. Г. Очерки по исторіи химіи. Популярно-научныя лекціи. XVI+318 стр. 8^о Съ 83 рис. 1912 г. Ц. 2 р. 20 к.

ШТОКЪ, А. проф. и ШТЕЛЕРЪ, прив.-доц. Практическое руководство по количественному анализу. Пер. съ нѣм. лабор. Новор. Унив. А. И. Кошкина подъ ред. проф. П. Г. Меликова. Пер. съ нѣм. VIII+172 стр. 8^о Съ 37 рис. 1911. Ц. 1 р. 20 к.

Руководство написано ясно и понятно и можетъ быть очень полезно при самостоятельномъ прохожденіи анализа. Естественныя и Географія.

А С Т Р О Н О М І Я

АРРЕНИУСЪ, Св. проф. Образованіе міровъ *. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. К. Д. Покровскаго VIII+200 стр. 8^о Съ 60 рис. 2-е изд. 1912. Ц. 1 р. 75 к.
Книга чрезвычайно интересна и богата содержаниемъ. Педагогическій Сборникъ

БОЛЛЬ, Р. С. проф. Вѣка и приливы. Пер. съ англ. подъ ред. прив.-доц. А. Р. Орбинскаго IV+104 стр. 8^о Съ 4 рис. и 1 табл. Ц. 75 к.

... настоящее изданіе «Математическаго» должно быть признано не только за прочими, но и за почтеннымъ заслуживающимъ разпространенія и серьезнаго вниманія, являясь въ русскую науку. Русская Школа

ВИХЕРТЬ, Э. проф. Введение въ геодезію * Пер. съ нѣм. IV+95 стр. 16^о.

Съ 41 рис. 2-е изд. 1912. Ц. 35 к.

Налагаетъ основы нашей геодезіи, имѣя въ виду пользованіе ею въ школѣ въ качествѣ практическаго пособия... Налаженіе очень сжато, но полно и послѣдовательно. *Вопросы Физики.*

ГРАФФЪ, К. Комета Галлея * Пер. съ нѣм. X+71 стр. 16^о. Съ 13 рис. и 2 отд. табл. Изд. второе испр. и доп. 1910. Ц. 30 к.

Врошюра Граффа хорошо выполняетъ свое назначеніе. *Педагогическій Сборникъ.*

Галлеева комета въ 1910 году. Общедоступное изданіе. Содержаніе: О вселенной—О кометахъ—О кометѣ Галлея. 32 стр. 8^о. Съ 12 иллюстраціями. 1910. Ц. 12 к.

КЛАРКЪ, А. Исторія астрономіи XIX столѣтія. Пер. съ англ. прив.-доц. СПБ. университета В. В. Серафимова. VIII+648 стр. 8^о. Съ рис. 1913. Ц. 4 р.

ЛОВЕЛЛЬ, П. проф. Марсъ и жизнь на немъ. Пер. съ англ. подъ ред. и съ предисл. прив.-доц. А. Р. Орбинскаго. XXI+272 стр. 8^о. Со многими рис. и 1 цвѣтн. табл. 1912. Ц. 2 р.

Книгу эту можно рекомендовать всякому, кто хочетъ аять состояніе науки о Марсѣ въ настоящей время; читается она легко и вполне доступна для средняго, знакомаго съ астрономіей, читателя. *Извѣстія Р. О-ва Любителей Міровѣдѣнія.*

НЬЮКОМЪ, С. проф. Астрономія для всѣхъ * Пер. съ англ. подъ ред. и съ предисл. прив.-доц. А. Р. Орбинскаго. XX+288 стр. 8^о. Съ порт. автора, 64 рис. и 1 табл. 2-е изд. 1911. Ц. 1 р. 50 к.

Вполнѣ научно, и совершенно доступно, и налицо написанная книга... переведена и мадана очень хорошо. *Вѣстника Воспитанія.*

БІОЛОГІЯ.

ВЕРИГО, В. проф. Единство жизненныхъ явленій. (Основы общей Биологии I). VIII+276 стр. 8^о. Съ 81 рис. 1912. Ц. 2 р.

... книгу нельзя не признать очень интересной и заслуживающей полнаго вниманія. Она написана просто и потому доступна большому кругу читателей. *Русская Школа.*

ВЕРИГО, В. проф. Біологія клѣтки, какъ основа ученій о зародышевомъ развитіи и размноженіи. (Основы общ. биологии II) IV+336 стр. 8^о. Съ 60 рис. 1913. Ц. 2 р. 50 к.

ЛЁБЪ, Ж. проф. Динамика живого вещества. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. В. В. Завьялова. VIII+352 стр. 8^о. Съ 64 рис. 1910. Ц. 2 р. 50 к.

Классическая книга Лёба, отъ чтенія которой трудно оторваться, устанавливаетъ вѣки достигнутого въ познаніи динамики живого вещества. *Русское Богатство.*

ЛЁБЪ, Ж. проф. Жизнь. Пер. съ нѣм. 30 стр. 8^о. 1912. Ц. 30 к.

Довольдъ отъ прѣкрасно резюмируетъ взгляды Лёба и его школы на сущность жизненныхъ явленій и потому является въ высшей степени интереснымъ. *Русская Школа.*

УШИНСКИЙ, Н. проф. Лекція по бактеріологіи VIII+135 стр. 8^о. Съ 34 черн. и цвѣтн. рис. на отдѣльн. табл. 1908. Ц. 1 р. 50 к.

Успѣхи біологіи. Сборникъ статей о важнѣйшихъ изслѣдованіяхъ послѣдняго времени. Вып. I. Подъ ред. проф. В. В. Завьялова. IV+244 стр. 8^о. Съ 24 рис. Ц. 1 р. 50 к.

V A R I A.

ГАМПСОНЪ-ШЕФЕРЪ. Парадоксы природы. * Книга для юношества объясняющая явленія, которыя находятся въ противорѣчіи съ повседневымъ опытомъ. Пер. съ нѣм. VIII+193 стр. 8^о. Съ 67 рис. Ц. 1 р. 20 к.

Матеріалъ подобранъ интересный. *Жур. Мин. В. Пр.*

ГАССЕРТЪ, К. проф. Изслѣдованіе полярныхъ странъ. * Исторія путешествій къ сѣверному и южному полюсамъ съ древнѣйшихъ временъ до на-

стоящаго времени. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ дополн. проф. *Г. И. Танфильева*. XII+216 стр. 8°. Съ двумя цвѣтн. картами. 1912. Ц. 1 р. 50 к.

... видно, какъ широко охваченъ въ книгѣ предметъ и какъ много даетъ она для интересующихся полнѣйшими изслѣдованіями. *Естествознание и Географія*.

ДАННЕМАННЪ, Ф. *Исторія естествознанія*. Пер. съ нѣм. подъ ред. засл. проф. СПб. унив. *Н. И. Борзмана*. IV+486 стр. 8°. Съ 87 рис. и портр. Галлея. 1913. Ц. 3 р.

НИМФЮРЪ, Р. *Воздухоплаваніе*. * Научныя основы и техническое развѣтѣ. Пер. съ нѣм. VIII+161 стр. 8°. Съ 52 рис. 1910. Ц. 90 к.

Въ книгѣ собранъ весьма обширный описательный матеріалъ. *Ж. М. Н. Пр.*

СНАЙДЕРЪ, К. проф. *Картина міра въ свѣтѣ современнаго естествознанія*. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *В. В. Завьялова*. VIII+193 стр. 8°. Съ 16 отд. порт. 1909. Ц. 1 р. 50 к.

Книга касается интереснѣйшихъ вопросовъ о природѣ. *Педагогическій Сборникъ*.

ТРЕЛЬС-ЛУНДЪ, проф. *Небо и міровоззрѣніе въ круговоротѣ времени*. Пер. съ нѣм. IV+233 стр. 8°. 1912. Ц. 1 р. 50 к.

... астрологія и астроніомія, богословскія и этическія системы и спекуляціи разсмотрѣны (въ сжатомъ, но увлекательномъ изложеніи) на протяжении трехъ съ половиною тысячелѣтій. *Русская Мысль*.

ТРОМГОЛЬТЪ, С. *Игры со спичками*. Задачи и развлеченія. Пер. съ нѣм. 146 стр. 16°. Свыше 250 рис. и черт. 2-е изд. 1912. Ц. 50 к.

ШМИДЪ, Б. проф. *Философская хрестоматія*. Пер. съ нѣм. *Ю. А. Говстева*, под. ред. и съ пред. проф. *Н. Н. Ланге*. VIII+172 стр. 8°. 1907. Ц. 1 р. ... Для человѣка, занятаго самообразованіемъ и немного знакомаго съ философіей и наукой, она (книга) даетъ разнообразный и интересный матеріалъ. *Вопросы философіи и психологіи*.

ЩУКАРЕВЪ, А. проф. *Проблемы теоріи познанія въ ихъ приложеніяхъ къ вопросамъ естествознанія и въ разработкѣ его методами*. IV+137 стр. 8°. Ц. 1 р.

Имѣется на складѣ:

БИЛЬТЦЪ, Г. и В. *Упражненія по неорганической химіи*. Пер. съ нѣм. *А. С. Комаровскаго*, съ предисл. проф. *Л. В. Писаржевскаго*. XVI+272 стр. 8°. Съ 24 рис. Ц. 1 р. 60 к.

СЪ ТРЕБОВАНИЯМИ ОБРАЩАТЬСЯ

ВЪ ГЛАВНЫЙ СКЛАДЪ ИЗДАНІЙ „МАТЕЗИСЪ“.

Одесса, Стурдзовскій пер., д. № 3а.

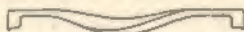
ПОДРОБНЫЙ КАТАЛОГЪ ИЗДАНІЙ ПО ТРЕБОВАНІЮ.

Выписывающіе изъ главнаго склада „МАТЕЗИСЪ“ на сумму 5 р. и болѣе за пересылку не платятъ.

Отдѣленія главнаго склада изданій „МАТЕЗИСЪ“:

Въ Москвѣ—Книжный магазинъ „Образованіе“ (Кузнецкій мостъ, 11);
въ Кіевѣ—Книжный магазинъ *В. А. Просянниченко* (Фундуклеевская).
Складъ изданій „МАТЕЗИСЪ“ въ С.-Петербургѣ—Книжный магазинъ *Г. Цукермана* (Александровская площадь, 5).

РЕДАКТОРЪ



2025

